



Contribution à la conception préliminaire intégrant la variabilité des préférences clients

Anne Guenand

► To cite this version:

Anne Guenand. Contribution à la conception préliminaire intégrant la variabilité des préférences clients: Application au design de produits technologiques à contenus numériques. Mécanique [physics.med-ph]. Ecole Centrale de Nantes (ECN), 2011. Français. NNT: ED 498-171. tel-01076560

HAL Id: tel-01076560

<https://theses.hal.science/tel-01076560>

Submitted on 22 Oct 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ecole Centrale de Nantes

École Doctorale

SPIGA : Sciences pour l'Ingénieur, Géosciences, Architecture

Année 2010

N° B.U. :

Projet de Thèse de DOCTORAT

Spécialité : Génie Mécanique

Présentée et soutenue publiquement par :

Anne GUENAND

le 14 janvier 2011

à l'Ecole Centrale de Nantes

Titre

Contribution à la conception préliminaire intégrant la variabilité des préférences clients.

Application au design de produits technologiques à contenus numériques.

Jury

Ameziane AOUSSAT	Professeur, Arts et Métiers PARISTECH	Rapporteur
Jean-Claude BOCQUET	Professeur, Ecole Centrale Paris	Rapporteur
Zohra CHERFI-BOULANGER	Professeur, UTC	
Hervé CHRISTOFOL	Maître de conférences, ISTIA	
Jean-François PETIOT	Professeur, Ecole Centrale de Nantes	Directeur de Thèse

Invités

Agnès GIMENO

Orange Lab

Directeur de thèse : Jean-François PETIOT

Laboratoire : Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes

N° ED 498

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Jean-François Petiot, Professeur à l'École Centrale de Nantes, qui a accepté de me guider dans cette aventure, je lui suis reconnaissante de la confiance qu'il m'a témoignée et de la liberté qu'il m'a offerte pour faire évoluer ce travail de thèse, sa finesse, sa hauteur de vue, sa disponibilité, ses précieux conseils, sa rigueur scientifique ont accompagné mes séjours à Nantes d'une lumière toute particulière. Qu'il trouve ici le témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

Je remercie les Professeurs Jean-Claude Bocquet, Directeur du laboratoire de Génie Industriel de l'École Centrale de Paris, et Améziane Aoussat, Directeur du laboratoire Conception de Produits et Innovation des Arts et Métiers ParisTech, qui ont accepté de rapporter ce travail.

Ce travail de thèse n'aurait jamais eu lieu sans le terrain fertile que représente l'équipe de recherche dans laquelle j'évolue à l'Université de Technologie de Compiègne, je remercie les Professeurs Zohra Cherfi et Benoît Eynard pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail, pour leur soutien, leurs conseils avisés et leurs encouragements.

Je tiens à remercier tous mes collègues de l'équipe CQP2, puis ODIC et récemment Roberval, pour leur disponibilité et la richesse de nos échanges.

Le cœur de ce travail se trouvant à la croisée des sciences pour l'ingénieur et des sciences de l'Homme, je souhaite vivement remercier les Professeurs Charles Lenay et Olivier Gapenne, de l'équipe de recherche Connaissance, Organisation et Systèmes TECHnique, pour les nombreux échanges que nous avons eus et pour les discussions animées concernant le design de l'expérience.

Dans le même domaine disciplinaire, je souhaite adresser ma plus vive reconnaissance au Professeur Kees Overbeeke dont l'art de vivre la recherche en design a nourri ma réflexion et orienté mes actions.

Je tiens enfin à remercier les Professeurs Takashi Hasumi, Hakira Harada et Toshimasa Yamanaka, du laboratoire de Design and Comprehensive Human Science de l'Université de Tsukuba. L'approche kansei que j'ai vécue pendant trois années au

Japon, il y a pourtant 10 ans, est à l'origine d'une expérience et d'une aventure intellectuelle des plus marquantes pour moi, ce travail en est le fruit aujourd'hui.

Merci à mes collègues Flore Vallet, Jean-Marc Picard et Nicolas Salzmänn de m'avoir ouvert la porte de leur amphi. Que leurs sympathiques étudiants soient ici aussi salués et remerciés pour leur participation active aux tests de préférences.

J'en profite pour adresser un grand et franc merci à mes deux stagiaires Delphine de Lovinfosse et Vincent Berdillon pour leurs contributions aux tests.

Une part de mes attentions particulières revient naturellement aux étudiants de la filière Ingénierie du Design Industriel et du master Design Innovation Produits, qui ont toujours répondu positivement à mes sollicitations, en particulier pour les dessins des projets de lecteurs musicaux, qu'ils soient ici remerciés de leur efforts et de leur passion.

Sommaire

Remerciements.....	2
Table des figures.....	7
Table des tables.....	10
Résumé.....	11
Abstract.....	12
Introduction	13
1. Chapitre 1 L'innovation pour les entreprises.....	16
1.1. Le secteur des produits électroniques à contenu numériques	19
1.1.1. Le design des produits électroniques à contenus numériques	19
1.1.2. L'enjeu de la conception innovante des produits électroniques à contenus numériques.....	26
1.2. Les problématiques que pose la conception de tels systèmes pour les équipes de conception.....	29
1.2.1. Verrou scientifique n°1	29
1.2.2. Verrou scientifique n°2	30
1.2.3. Verrou scientifique n°3.....	30
1.3. Objectif de la thèse	31
1.4. Plan de la thèse	32
2. Chapitre 2 État de l'art	34
2.1 Organisation de la conception	34
2.1.1 Modèles d'organisation séquentielle	34
2.1.2 Modèles d'organisation concourante.....	38
2.2 Méthodes de conception	41
2.2.1 L'analyse fonctionnelle	41
2.2.2 La conception axiomatique	42
2.2.3 La conception robuste.....	42
2.3 Intégration de la part subjective du besoin en conception.....	44
2.3.1 L'analyse sémantique	45
2.3.2 L'évaluation sensorielle.....	46
2.3.3 Le Kansei engineering.....	47
2.3.4 L'analyse des paramètres affectifs.....	49
2.3.5 L'approche Marketing : Le marketing sensoriel	51
2.3.6 La conception à l'écoute du marché	51
2.3.7 L'approche ergonomique	54
2.4 Théories de la perception	60
2.4.1 L'approche physiologique.....	60
2.4.2 L'approche psychologique.....	62
2.4.3 Le concept d'affordance.....	64
2.5 Théorie de l'interaction	67
2.6 Une approche intégratrice : Le design thinking	72
2.6.1 Le design industriel et les méthodes d'exploration des espaces des besoins.....	73
2.6.2 Le design orienté expérience.....	75

2.6.3	Le Design Inclusif selon Jordan	79
2.7	Conclusion de la problématique de recherche	81
3.	Chapitre 3 Cadre théorique de notre proposition	83
3.1	Approche de la robustesse en conception	84
3.2	Application de la conception robuste à un problème de design	88
3.3	Proposition.....	89
4.	Chapitre 4 Application de la méthode à la conception d'un produit nouveau	92
4.1	Contexte	93
4.2	Méthode.....	94
4.2.1	Phase 1 : Exploration créative large par les designers	95
4.2.2	Phase 2 : Évaluation des préférences par des utilisateurs potentiels : analyse sensorielle.....	96
4.2.3	Phase 2.1 : Tests hédoniques : préférences	96
4.2.4	Phase 2.2 : Étape descriptive, Profils Flash	103
4.2.4.1	Déroulement de la méthode.....	104
4.2.4.2	Résultats de la méthode des profils Flash.....	105
4.2.4.3	Comparaison des systèmes de représentations individuelles par Analyse Procustéenne généralisée.....	107
4.2.5	Analyse du consensus des termes sémantiques	108
4.2.6	Phase 2.3 : Caractérisation physique.....	111
4.3	Résultats.....	111
4.3.1	Phase 3 : Identification d'une variabilité inter/intra utilisateurs.....	111
4.3.2	Intégration d'une nouvelle fonction variabilité du « degré de contrôle » dans le processus de conception robuste	116
4.4	Discussion.....	117
4.5	Conclusion	118
	Chapitre 5. Application de la méthode à la conception innovante	Cas
	d'étude France-Telecom	121
5.1	Contexte	121
5.2	Éléments du cahier des charges.....	122
5.3	Méthode.....	123
5.3.1	Phase d'anticipation et d'exploration des besoins.....	123
5.3.1.1	Veille technologique	124
5.3.1.2	Recherche créative large par un designer.....	126
5.3.1.3	Approfondissement des pistes jugées prometteuses.....	128
5.3.2	Fonctionnalités attendues	136
5.3.3	Identification d'une variabilité inter/intra utilisateurs potentiels.....	136
5.3.4	Intégration d'une fonction « variabilité de la simultanéité » dans le cahier des charges.....	137
5.3.5	Limites de l'approche qualitative	139
5.3.6	Approche de conception intégrant la variabilité des préférences clients	140
5.3.7	Phase 1 : Exploration large des possibles par les designers.....	140
5.3.8	Phase 2 : Évaluation des préférences par des utilisateurs, démarche d'analyse sensorielle	143
5.3.8.1	Phase 2.1 : Test de préférences	143
5.3.8.2	Phase 2.2 : Étape descriptive, caractérisation physique.....	150
5.3.9	Identification de critères de variabilité inter/intra utilisateurs.....	152
5.3.10	Intégration du critère de variabilité dans le processus de conception robuste .	158
5.4	Conception robuste : Garantir les performances du concept quelle que soit la variabilité des utilisateurs	159
5.5	Discussion.....	160
5.6	Conclusion	161

Conclusion et perspectives	163
Références	168
Liste sélective des publications de l'auteur en rapport avec le sujet.....	179
Livre + organisation de conférence internationale.....	179
Revue internationale avec comité de lecture.....	179
Chapitre de livres.....	180
Conférences internationales avec comité de lecture.....	180
Conférences invitées.....	180
Annexe 1	182
Annexe 2	194
Annexe 3	195

Table des figures

Figure 1. Le modèle de liaison en chaine de Kline et Rozenberg	17
Figure 2. cas n°1 de négociation fond/forme : la technologie est donnée	20
Figure 3. cas n°2 de négociation fond/forme : la technologie évolue, il faut préserver une forme	20
Figure 4. a : la technologie est mécanique 4.b : la technologie est électronique..	20
Figure 5. Téléphone mobile Nokia 7270.....	21
Figure 6. Baladeur musicaux MP3 Apple iPod (à gauche) et Tamashi (à droite)	22
Figure 7. Téléphone mobile Apple iPhone, objet électronique à contenu numérique, interface gestuelle 2D	24
Figure 8. Lapin communiquant Nabaztag	25
Figure 9. Modèle du processus de conception par phases de Pahl & Beitz	35
Figure 10. Intégration du différentiel sémantique dans la conception d'objet centrée sur la perception	45
Figure 11. Intégration de l'analyse sensorielle dans la conception d'objets centrée sur la perception	47
Figure 12. Le processus de Kansei [LEVY, 2006]	48
Figure 13. Interface de dialogue de l'outil PrEMO.....	50
Figure 14. Intégration de l'outil PrEMO dans la conception centrée sur les valeurs émotionnelles	51
Figure 15. Conception orientée produit et conception orientée client	52
Figure 16. Evolution de la satisfaction client selon la nature des besoins et des fonctions	53
Figure 17. Intégration des méthodes d'évaluation dans la conception d'objets centrée sur la perception	54
Figure 18. Intégration de l'ergonomie dans le processus en spirale de la conception...	55
Figure 19. Schéma représentatif du fonctionnement des GUI (selon [ISHII, 2008]).....	58
Figure 20. Schéma représentatif du fonctionnement des TUI (selon [ISHII, 2008]).....	59
Figure 21. Schéma de principe du Digital Desk de Wellner [WELLNER, 1992]	59
Figure 22. L'URP, interface tangible à destination des architectes.....	60
Figure 23. Etapes physiologiques de la perception [DEPLEDT, 1998].....	61
Figure 24. Modèle général de la communication de Shannon cité dans [QUARANTE, 2001]	61
Figure 25. Modèle de la perception visuelle selon James Gibson [GIBSON, 1979].....	63
Figure 26. Modèle de la perception active	64

Figure 27. Taxonomie SRK mettant en relation les niveaux impliqués dans la perception.....	67
Figure 28. Modèle de l'interaction Sujet/environnement via l'objet (dispositif de couplage)	68
Figure 29. Synthèse de l'état de l'art des méthodes d'évaluation en conception selon l'état de l'objet.....	69
Figure 30. Modèle des Situations d'Activités avec Instrument [RABARDEL, 1995-2] ...	71
Figure 31. Modèle de l'activité de design en tant qu'articulation de deux logiques.....	74
Figure 32. Révolver-jouet et Agenda électronique issu de l'interaction relabelling [DJAADININGRAT, 2000-2].....	76
Figure 33. Les 6 dimensions sur lesquelles le designer peut agir	76
Figure 34. Interaction Frogger: possibilités de couplage entre action et information de l'objet [WENSVEEN, DJAADININGRAT et al., 2004]	78
Figure 35. Modèle de fonctionnement d'un système	84
Figure 36. Optimisation statistique, recherche du x_{optimal} . [CARO, 2004].....	87
Figure 37. Simulation de l'évolution des performances en fonction des choix de conception ($x_{\text{cible}} = x_{\text{robuste}}$ plutôt que x_{optimal}) pour deux groupes de préférences.....	88
Figure 38. Illustrations de choix de conception d'intérieur automobile	89
Figure 39. Sélection des 13 concept-produits de dispositifs musicaux pour l'étude	96
Figure 40. Forme et matrice (partielle) des résultats du test de préférences.....	97
Figure 41. Dendrogramme des 64 répondants, en regard à leurs préférences.....	99
Figure 42. Cartographie interne des préférences des deux premiers facteurs (F1-F2) pour les 64 répondants.	101
Figure 43. Plot des deux premiers facteurs (F1-F2) pour les 13 concept-produits	101
Figure 44. Profils moyens des groupes de préférences G1 (à gauche) et G2 (à droite).....	102
Figure 45. Valeurs tests des groupes de préférences G1 (en noir), G2 (en gris).....	103
Figure 46. Représentation graphique partielle de l'occurrence des 51 attributs.....	106
Figure 47. Représentation graphique des positionnements produits pour 2 sujets (n°25 à gauche, n°28 à droite.)	106
Figure 48. Exemple avec deux configurations.....	108
Figure 49. ACP de la configuration consensuelle après GPA (axes 1 et 2).....	109
Figure 50. GPA – Plan des variables (projection en variable supplémentaire des attributs de chaque sujet sur l'ACP du consensus)	110
Figure 51. Sélection des produits préférés du groupe G1 sur l'ACP du consensus.....	112
Figure 52. Sélection des produits préférés du groupe G2 sur l'ACP du consensus.....	113
Figure 53. Fonction variabilité du "degré de contrôle" variant de faible à fort.....	116
Figure 54. Photographie du démonstrateur, conçu pour prendre en compte le besoin de contrôle, pouvant varier de faible à fort.	117

Figure 55. Les principales méthodes de découverte d'idées nouvelles [GOTTELAND, 2005]	123
Figure 56. Processus de conception de l'étude France Telecom selon la représentation C-K	126
Figure 57. Matérialisation du bureau numérique via une TUI.....	127
Figure 58. Matérialisation d'un espace numérique partagé via une TUI.....	127
Figure 59. Matérialisation des actions de manipulation via une TUI.....	127
Figure 60. Processus de développement de l'innovation et des nouveaux produits	130
Figure 61. Modèle de diffusion de l'innovation selon Everett Rogers [ROGERS, 1983]	130
Figure 62. Carnet d'entretiens comportant des annotations libres (à gauche) et la fiche d'entretien (à droite).....	132
Figure 63. Support textuel servant de guide en début d'entretiens	132
Figure 64. Fiche d'entretien	133
Figure 65. Photo de la maquette du dispositif de rencontre authentique dans un espace numérique partagé.....	138
Figure 66. Photos du dispositif de contrôle des avatars pour les 4 fonctions attendues	139
Figure 67. Exemple de dessin du dispositif de contrôle des avatars pour les 4 fonctions attendues.....	142
Figure 68. Sélection des 14 dessins retenus pour l'étude des préférences	142
Figure 69. Page du test de préférences en ligne	144
Figure 70. Forme et matrice (partielle) de résultats du test de préférences.....	145
Figure 71. Dendrogramme des 160 répondants, en regard à leurs préférences	146
Figure 72. Cartographie interne des préférences des deux premiers facteurs (F1-F2) pour les 160 répondants.....	147
Figure 73. Position des 14 produits sur les axes de la projection F1-F2 pour les 160 répondants.....	147
Figure 74. Profils moyens des groupes de préférences G1 (à gauche), G2 (à droite) ...	148
Figure 75. Valeurs tests des groupes de préférences G1 (en gris), G2 (en noir).....	149
Figure 76. ACP produits-sujets des données de préférence et projection des variables supplémentaires sur les plans F1-F2. Caractéristiques typiques du groupe 1	153
Figure 77. ACP produits-sujets des données de préférence et projection des variables supplémentaires sur les plans F1-F2. Caractéristiques typiques du groupe 2	154
Figure 78. Fonction variabilité de la précision	157
Figure 79. Fonction variabilité du ressenti.....	157
Figure 80. Proposition formelle intégrant les 3 fonctions de variabilité (simultanéité, précision et ressenti).....	159
Figure 81. Position variant de faible à plus importante zone de sensation.....	160

Table des tables

Table 1. Présentation synthétique de la présente thèse	33
Table 2. Barycentres des classes :	102
Table 3. Valeurs tests	103
Table 4. Tableau de résultats des descriptions d'attributs	111
Table 5. Tableau de résultats des descriptions d'attributs des produits préférés et rejetés	114
Table 6. Synthèse des 3 séries d'entretiens menés en phase d'exploration large	134
Table 7. Barycentres des classes (2 classes)	148
Table 8. Valeurs tests des deux groupes de préférences	148
Table 9. Tableau récapitulatif de la caractérisation des 14 produits par les experts ...	151
Table 10. Tableau de résultats des descriptions d'attributs	156

Résumé

Améliorer la qualité des produits constitue un effort permanent des entreprises pour satisfaire leurs clients et gagner des parts de marché. Paradoxalement, la rationalisation des moyens de conception et de production a conduit à une relative standardisation de l'offre produit, et l'on constate de nos jours un regain des valeurs immatérielles liées au produit (attentes émotionnelles, symboliques, d'estime). Concevoir des produits désirables pour des utilisateurs toujours plus nombreux, exigeants et versatiles est devenu un challenge d'importance pour les entreprises manufacturières de biens de consommation - les émotions suscitées par l'apparence des produits, par leurs fonctions et par les comportements qu'elles induisent sont la clé de voute de leur réussite mais sont difficiles à prédire. La maîtrise de la satisfaction client repose en grande partie sur la compréhension et l'intégration en amont de la conception des facteurs subjectifs qui structurent les préférences et déclenchent l'acte d'achat. Dans cette thèse, nous montrons la nécessité de développer une approche spécifique d'exploration des besoins - basée sur une approche théorique de la perception active et du design thinking - et de conception de produits - basée sur l'approche théorique de la conception robuste - afin de favoriser l'émergence d'innovations qui garantissent pleinement la satisfaction clients. Nous proposons une méthode de Conception Préliminaire Robuste et exposons cette méthode à travers deux cas d'application. Le premier cas décrit la conception d'un nouveau dispositif de lecture musicale prenant en compte la variabilité des préférences liée à la diversité des états émotionnels de l'utilisateur, le second cas, mené dans le cadre d'un partenariat avec France-Télécom, porte sur la conception innovante d'un système de communication interpersonnelle intégrant, par une large diversité de modalités d'actions, la variabilité des préférences liée à la diversité des modalités communicationnelles entre deux utilisateurs. Cette méthode permet de concevoir des produits et services qui satisfont mieux les attentes clients antinomiques en les transformant en une nouvelle fonction « variabilité » du produit intégrée au cahier des charges de conception.

Mots clefs : Conception orientée clients, analyse des préférences, conception robuste, produits technologiques à contenus numériques.

Abstract

Improving the quality of products constitutes a permanent effort of the industrial companies for satisfying their customers and obtaining new markets. Paradoxically, the rationalization of the means of design and production leads to a relative standardization of products, and we observe a renewal of the immaterial values (emotional and symbolic expectations) linked to the product. Designing desirable products for even more demanding and fickle users becomes an important challenge for the industrial companies: the feelings aroused by the appearance of products, by their functions and by the behaviour induced by the products' use are the linchpin of their success but are difficult to predict.

The control of the customer satisfaction is based largely on the understanding and the integration, in the upstream phases of the design process, of the subjective factors which structure the preferences and activate the act of purchase.

In this thesis, we show the necessity of developing a specific approach regarding needs exploration - based on a theoretical approach of the active perception and design thinking - and regarding the products design process - based on the theoretical approach of robust design - to facilitate the emergence of innovations that guarantee better customer satisfactions.

We propose in this thesis a Preliminary Robust Design method. We expose this method through two design cases. The first case describes the design of a new music player taking into account the variability of the preferences connected to the variety of the emotional states of the user. The second case, led within the framework of a partnership with France-Telecom, presents the innovative design of an interpersonal communication device, which takes into account the variability of the preferences connected to the variety of the communicational modalities between two users.

This method helps to design products and services that better satisfy the paradoxical expectations and preferences of the customers, by transforming the set of expectations in a new function "variability" of the product, which is then joined to the design specifications in the design process.

Keywords : Human-centred design, preferences analysis, electronic devices.

Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'exposer le contexte industriel, les enjeux de la conception pour l'innovation, et la complexité de la conception innovante dans un contexte socio-technique en pleine mutation.

Face à des clients de plus en plus exigeants et difficiles à fidéliser, le contexte concurrentiel exhorte les entreprises manufacturières à innover et à mettre en place des méthodes et outils d'aide à la compréhension et à la maîtrise de la part subjective du besoin dans le processus de conception.

Or l'on a jusqu'à maintenant résolu le problème en reportant sur le service marketing tous les aspects subjectifs liés au besoin. Citons par exemple la mesure des réactions affectives. Des études d'évaluation sémantique du produit ont été mises en place dès les années 50 pour garantir l'adéquation entre l'organisation formelle du produit et les préférences du client [OSGOOD, SUCI et al., 1957]. De la même façon, des méthodes d'évaluation sensorielle ont été développées dès les années 70 afin de comprendre les mécanismes qui structurent les préférences des consommateurs [PETIOT, 2008]. Ces méthodes sont aujourd'hui largement répandues dans de nombreux domaines de l'industrie manufacturière (automobile, téléphonie mobile, électroménager, cosmétique, sport) [CRIN, 1997], mais se trouvent aujourd'hui confrontées à certaines limites. Une des limites se trouve être liée à la nature même de l'innovation et des nouveaux objets à concevoir. En effet, dans le cas d'une innovation, les besoins ne sont pas préexistants à l'offre produits, il y a co-émergence des besoins et des dispositifs qui les suscitent.

Dans ces conditions, la qualité perçue relève non seulement des aspects sémantiques et sensoriels, mais aussi d'autres facteurs tout aussi influents¹ pour l'utilisateur final. Nous avons pu observer que les dimensions sémantiques liées à l'aspect du produit et à l'expérience rendue possible par ce produit sont un tout indissociable. Un objet dont

¹ Nous avons contribué au domaine par la proposition d'une méthode faisant appel aux mathématiques du flou et permettant la prise en compte de la confiance de l'expert dans son jugement [GUE03], [GUE05]. Cette recherche a montré tout l'intérêt de poursuivre dans la voie de l'analyse subjective pour la maîtrise de la qualité perçue, et en même temps nous en a montré les limites.

les caractéristiques sémantiques de la forme sont en cohérence avec les caractéristiques sensorielles a plus de chance de succès qu'un produit dont les caractéristiques sensorielles seraient en contradiction avec les dimensions sémantiques. Il en est de même pour la cohérence des deux premiers items, caractéristiques sémantiques de la forme et caractéristiques sensorielles, avec l'univers sémantique généré par l'interaction. À technologie égale, à valeur sémantique comparable et à dimension sensorielle équivalente, deux produits se distinguent par la qualité perçue de l'expérience vécue à laquelle ils donnent accès.

« Many industries [] realized that mere functionality does no longer sell ».

« Not only are customers not interested in the 54th new function, many products have reached a level of technical perfection that it has become difficult to discriminate on that basis. Thus, when two coffee makers basically make the same pot of coffee, we take the one that gives us a pleasant, desirable, or inspired feeling » [OVERBEEKE and HEKKERT, 1999].

Selon [SAVAS, 2008], les produits présentant un excellent niveau de performances techniques, de fonctionnalités et d'utilité ne satisfont plus les utilisateurs dans leur relation au produit. Le point de départ de la plupart des études portant sur les émotions est que dans leurs rapports avec des objets, les utilisateurs ne recherchent plus la fonctionnalité, l'utilité, ou la rentabilité, mais exigent plutôt des « avantages émotionnels » comme le plaisir et « l'agréabilité ».

Dans leur ouvrage « économie de l'expérience », [PINE and GILMORE, 1999] prédit déjà le développement d'une économie de l'expérience, mettant en avant l'importance de créer des expériences riches et irrésistibles.

« La satisfaction client est un état cognitif et émotionnel, transitoire résultant d'une expérience de *service, de la consommation ou de l'utilisation d'un bien* » [LICHTLÉ, PLICHON et al., 2001]. La satisfaction est postérieure à l'achat et conditionnée par l'usage ou l'expérimentation du produit ou du service. L'évaluation peut porter sur l'ensemble de l'expérience de consommation (approche holistique) ou sur des parties de ce processus telles que l'acte d'achat lui-même, la consommation, l'usage du produit ou du service (approche analytique).

Tout l'enjeu des entreprises manufacturières paraît désormais reposer sur leur capacité à évaluer le plus tôt possible dans le processus de conception la qualité de l'expérience qui sera rendue possible par le produit.

« Notre avenir industriel dépend de la qualité de notre technologie, mais aussi de notre capacité à concevoir des produits originaux, adaptés à la vie moderne, qui anticipent les besoins des consommateurs » exprimait en 2004, Nicole Fontaine, Ministre déléguée à l'Industrie [FONTAINE, 2003].

Selon Soudoplatof, toute innovation technologique a un impact sociétal qui se passe en deux phases: la première phase consiste à faire ce que l'on faisait avant, mais avec un outil nouveau. La deuxième phase consiste à inventer ou développer de nouvelles formes, rendues possibles par l'outil [SOUDOPLATOF, 2010].

Dans un contexte socio-technique en pleine mutation, comment assister les entreprises à concevoir des produits originaux et à anticiper les besoins des clients ?

C'est ce que nous allons développer dans cette thèse. Nous allons montrer la nécessité de développer une approche spécifique d'exploration des besoins - basée sur une approche théorique de la perception active et du design thinking - dans le processus de conception de produit afin de favoriser l'émergence d'innovations qui garantissent pleinement la satisfaction clients. Nous proposons une méthode de conception préliminaire robuste ».

1. Chapitre 1

L'innovation

pour les

entreprises

Selon [KLINE, 1985], l'innovation n'est pas un processus linéaire ni ne tient du hasard, mais relève de la complexité. Pour avoir une idée de la complexité du processus d'innovation, [AKRICH, CALLON et al., 1988] suggère « d'imaginer une fusée pointée en direction d'une planète dont la trajectoire à long terme est inconnue et décollant d'une plate forme mobile dont les coordonnées ne sont calculées que grossièrement ». Dans une étude menée avec Rozenberg [KLINE and ROZENBERG, 1986], il distingue deux types de forces qui interagissent *les unes avec les autres et qui expliquent la complexité intrinsèque de l'innovation*. D'un côté les forces du marché, exprimant le contexte changeant des opportunités commerciales qui peut donner lieu à des innovations spécifiques, de l'autre côté, les forces du progrès, liées aux technologies et aux avancées scientifiques, qui poussent au développement de nouveaux produits ou à l'amélioration des anciens. C'est la combinaison de ces forces qui assure le succès d'une innovation. D'après Kline et Rozenberg cités dans [CANEL, 1993], [FOREST, MICAËLLI et al., 1997], les innovations réussies impliquent des relations par boucles itératives entre recherche, marché et conception, comme illustré sur la figure 1 ci-dessous.

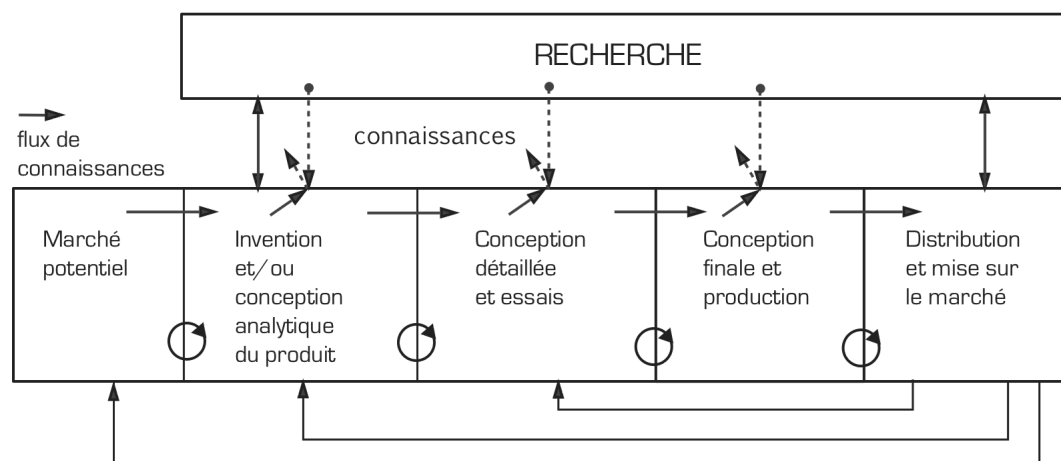


Figure 1. Le modèle de liaison en chaîne de Kline et Rozenberg

Ces relations impliquent² une conception mettant en tension les besoins du marché, les conditions de conception et de production du nouveau produit et les conditions pour permettre à l'organisation de continuer à en assurer le soutien.

Il est important de rappeler que les innovations économiquement réussies ne sont pas forcément liées à la sophistication des technologies qui n'ont pas de valeur intrinsèque sur le marché. Les processus d'innovation ne sont pas purement techniques de nature, mais sont plutôt des combinaisons fortement entrelacées de « social » et de « technique ». Le terme « système socio-technique » est avancé dans le domaine pour penser l'innovation.

Selon [HATCHUEL and WEIL, 2002], la conception innovante est au cœur du processus d'innovation, probablement davantage que ne le sont les disciplines habituellement associées à la R&D et centrées pour l'essentiel sur les sciences pour l'ingénieur. Or le processus de conception est intrinsèquement complexe à plusieurs titres : complexité de l'environnement (technologique, économique, social), incertitude et absence de chemin déjà tracé, complexité des processus de pensée en conception.

Selon [LE MASSON, WEIL et al., 2006], au départ du raisonnement, « il y a cette nouvelle donne du capitalisme contemporain de l'innovation intensive ». [GAREL,

² [CAN93] citant Kline, reprend les cinq types de liaison entre les différentes activités du processus d'innovation. « A côté de la chaîne centrale qui va de l'invention au marketing, on trouve des relations en retour, sous la forme de boucles courtes reliant chaque phase avec la précédente et de boucles longues entre les besoins des utilisateurs et les différentes phases amont du processus. Différents types de liens plus spécifiques assurent les contacts entre la science, l'invention et l'innovation; le lien entre la science et l'innovation permet l'utilisation des connaissances scientifiques pour le développement du produit et, inversement, l'augmentation des connaissances par l'expérience acquise au cours du développement. L'interaction entre la science et l'invention favorise la transformation des nouvelles avancées scientifiques en innovations radicales. Enfin, la liaison entre l'innovation et la science assure plus particulièrement l'utilisation par la recherche scientifique des nouveaux instruments et des nouvelles procédures ».

2007] rappelle que « depuis le milieu des années 1990 une double pression brouille totalement les repères de la gestion de la conception pour les entreprises : la transformation de l'identité des objets et, concomitamment, l'accroissement sans précédent des exigences d'efficacité du capitalisme financier ». Dans ces conditions, le statut de l'innovation dans la stratégie change. « C'était essentiellement une arme de croissance, réservée aux entreprises les plus entreprenantes, elle est devenue une condition de survie. L'innovation était rare et ponctuelle, elle devient fréquente. L'innovation était réservée à certains secteurs et certaines traditions, elle se généralise et se banalise ». Ce contexte d'innovation intensive déplace les enjeux de la compétition traditionnelle basée sur des « critères de performances paramétriques (plus rapide, moins cher, plus petit, plus sûr...) » vers une compétition des « identités des biens et des services ». « Dans de nombreux secteurs industriels, l'identité des objets est devenue incertaine, sous la pression des technologies diffusantes et évolutives, de nouvelles valeurs sociales, de nouvelles régulations, des règles financières et des compétiteurs *low cost*, l'identité des objets est sans cesse révisée » [GAREL, 2007].

Les enjeux de l'innovation pour les entreprises industrielles matures aujourd'hui sont tels qu'elles investissent massivement dans la prise en compte de la subjectivité des utilisateurs en conception pour proposer des produits innovants répondant aux attentes latentes des clients finaux. [YANNOU, 2001] et [BELLUT, 1990] ont montré que c'est désormais dans les phases les plus amont du processus d'innovation que se nichent les gains de productivité des entreprises.

Selon [DARSES, DÉTIENNE et al., 2001], les phases amont de la conception, notamment celles dites de « conception préliminaire », occupent 5% du processus de conception, mais engagent plus de 75% des coûts globaux du produit. En effet, c'est à cette étape du projet que 70 à 80 % du coût du produit ou du service final est engagé [CATTAN, 2004].

Assister ces phases et développer la robustesse en amont de la conception représente donc un enjeu économique important. Notre travail s'inscrit dans le cadre de la conception préliminaire.

1.1. Le secteur des produits électroniques à contenu numériques

« Au cours des 10 dernières années, des pans entiers de notre environnement ont basculé dans le numérique : l'ensemble des moyens de communication, l'audio-visuel, la commande des objets, l'appareillage médical..., il s'agit bel et bien d'une révolution qui met bien des modes de pensée et d'action classiques sans dessus dessous », annonce Gérard Berry, directeur scientifique et membre de l'académie des sciences, dans sa conférence de rentrée le 12 septembre 2006 [BERRY, 2006] à l'ENS-Cachan.

On s'est engouffrés dans la dématérialisation, dans le « *tout numérique* » des ordinateurs, des téléphones portables et d'Internet. Le design en a fait son chou gras et nombre de designers ont contribué à rendre désirables des boîtes noires (à contenus numériques) rivalisant entre-elles par des fonctionnalités toujours plus nombreuses bien que de contenus de moins en moins accessibles.

Dans « The Disappearing Computer » [STREITZ, KAMEAS et al., 2007] met en avant la nécessité de concevoir des objets électroniques à contenus numériques car l'informatique n'est plus cantonnée aux seuls PC mais investit massivement la vie quotidienne. Dès lors, afin d'éviter la conception de « boîtes noires³ » hermétiques à l'utilisateur, le design s'impose. Cette activité créatrice, intégratrice des besoins utilisateurs et des savoir-faire de l'entreprise, permet d'opérer les croisements nécessaires entre diverses technologies, et études anthropocentrées pour aboutir à des produits hybrides pour lesquels l'interface est un produit en soi, voire constitue l'essentiel du produit.

1.1.1. Le design des produits électroniques à contenus numériques

Traditionnellement, nous pouvons observer trois cas de négociation fond-forme rencontrés dans la pratique du design.

Dans le cas de la figure n°2, illustrant une coque d'ordinateur portable Tulip, la technologie est donnée, elle peut être mécanique ou électronique, dans les deux cas il s'agit d'explorer les possibilités d'envelopper la technologie par une forme désirable.

³ La boîte noire, est un produit « hyper intelligent » conçu avant tout pour ses performances techniques mais qui oublie de « parler » au consommateur [GAT10]



Figure 2. cas n°1 de négociation fond/forme : la technologie est donnée

Dans le cas n°2, illustré figure 3 ci-dessous par le concept car à pile à hydrogène, Peugeot Flux [PANAITESCU, 2007], la technologie évoluant, il s'agit de préserver une forme pour garantir une continuité des usages : il s'agit de faire habiter une forme par une nouvelle technologie.

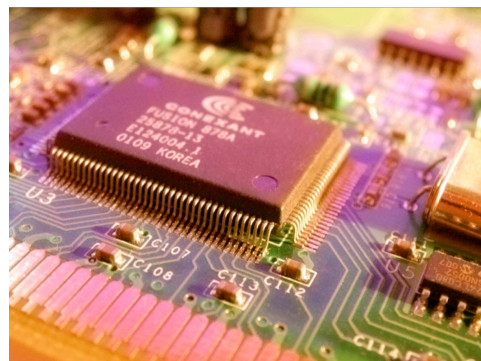


Figure 3. cas n°2 de négociation fond/forme : la technologie évolue, il faut préserver une forme

Enfin, dans le cas n°3 de négociation fond-forme, la forme et le fond sont à co-inventer : il s'agit de co-développer la technologie et la forme de sa matérialisation. Alors que les technologies mécaniques rendaient visibles, comme illustré sur la figure 4/a, et potentiellement désirables, par leur constitution, les fonctionnalités qu'elles offraient, les objets électroniques à contenus numériques, comme illustré sur la figure 4/b, possèdent des fonctionnalités nombreuses et cachées, portées dans des puces électroniques, qui rendent complètement ouvertes les possibilités de matérialisation.



Figure 4. a : la technologie est mécanique



4.b : la technologie est électronique

Bien que ces objets électroniques représentent un nouvel enjeu pour les designers, qui ne sont plus, de fait, contraints par la logique mécanique de l'objet à une certaine

matérialité de la forme et à une certaine esthétique, la fin du XXème siècle a tardé à laisser se révéler le potentiel d'action des designers quant à la conception des nouveaux objets électroniques à contenus numériques, et a persisté à mobiliser les capacités d'expression des designers à la seule esthétique de la forme. La figure 5 ci-dessous, représentant un téléphone Nokia dans son édition de luxe, objet électronique à contenu numérique de la fin du XXème siècle d'interface computationnelle classique, traitée par la designer Donatella Versace est un exemple de l'accomplissement dont l'industrie manufacturière des objets électroniques fait preuve dans sa maîtrise de l'esthétique formelle du produit.

Overbeeke avance qu'en concevant un contexte pour l'expérience plutôt que simplement un produit, le designer non seulement rendra les fonctions accessibles à l'utilisateur mais contribuera à lui offrir une expérience agréable et une esthétique de l'interaction [OVERBEEKE and WENSVEEN, 2003]. Les designers voient donc progressivement leur champ d'expression potentiellement élargi vers une liberté de la forme qui est non seulement guidée par une esthétique de la forme mais aussi par une esthétique de l'expérience rendue possible par cette forme.



Figure 5. Téléphone mobile Nokia 7270

La seule esthétique de l'objet ne réussit plus aujourd'hui à distinguer un objet de sa concurrence et à répondre à la demande croissante de la part d'utilisateurs de ces objets technologiques complexes, toujours plus nombreux à réclamer plus de simplicité, plus de personnalisation, plus d'immersion et plus de divertissement [DIDON, 2008].

Si la quantité d'information tend à croître (la taille et la résolution des écrans augmente ce qui permet de présenter à l'utilisateur un grand nombre d'informations),

les moyens d'actions physiques disponibles pour accéder à cette information, eux, ont tendance à augmenter beaucoup moins vite (le nombre de boutons des appareils à même tendance à diminuer).

De par leurs caractéristiques « complexes » - intégration de nombreuses fonctions, rôle encore plus éminent des interfaces - ces produits nous conduisent à un double questionnement relatif d'une part, aux représentations que le concepteur se fait des nouveaux besoins et d'autre part, aux effets de cette complexité sur l'activité d'usage des utilisateurs.

Dans le domaine de la conception de ces produits, nous faisons face à un challenge nouveau, le grand potentiel technologique des dispositifs techniques est bridé par son acceptabilité limitée par les utilisateurs. Il est nécessaire de trouver comment réduire la complexité apparente de ces dispositifs techniques sans réduire le nombre de leurs fonctionnalités.

On voit apparaître depuis le début des années 2000 des produits électroniques à contenus numériques complexes, dont le mode de contrôle des fonctionnalités internes s'ouvre sur de nouvelles modalités d'action. La figure 6 montre un iPod de première génération dont la modalité de contrôle des contenus est tactile, via une molette capacitive⁴.



Figure 6. Baladeur musicaux MP3 Apple iPod (à gauche) et Tamashi (à droite)

Afin de comprendre ce qui distinguait l'Apple iPod de ses concurrents, nous avons mené une étude basée sur l'Axiomatic Design de Suh [SUH, 2001]. Notre hypothèse était que la conception d'un produit électronique à contenus numériques faisant appel à une nouvelle gestuelle basée sur le couplage direct entre le geste et l'exécution de la

⁴ Technologie capacitive : L'écran capacitif utilise une surface solide de type verre. Cette surface est parcourue par une grille quasiment invisible à l'œil nu, qui accumule une charge sur toute la surface de l'écran. La « fuite » de la charge par le doigt provoque une instruction dans le système du terminal.

fonction, (voir figure 6, à gauche), et non plus sur l'action ponctuelle par un geste minimal (pression d'un bouton en tout ou rien, voir figure 6, à droite) pour l'exécution de cette même fonction, augmente ses chances de succès et d'acceptabilité par les utilisateurs finaux.

Nous avons identifié le facteur « temps » du geste de l'utilisateur comme étant distinctif de ces produits. La présentation de l'étude se trouve en annexe n°1 [GUENAND and PETIOT, 2007].

Après les Nintendo DS et Wii, le coup d'envoi a été lancé par l'Apple iPhone, « il y avait avant et il y a après ! En terme d'interaction, 10% seulement revient à l'usage, 50% provient du service (iTunes, puis Apple Store ...), mais la révolution ne vient pas de là », explique Thierry Bonhomme [BONHOMME, 2008], « mais de son interface ».

En effet, la logique de la compétition sur des critères techniques ou fonctionnels semble s'être renversée, Apple, qui a vu ses parts de marché dans les smartphones multipliées par 5 dans l'année 2008 [CANALYS, 2008], est toujours en tête des ventes en 2010, bien que moins performant que ses concurrents sur certains aspects techniques :

- concernant le hardware, iPhone n'est pas, et de loin, le plus puissant du marché, techniquement il contient un appareil photo de 3 Mega-Pixels et ne possède pas de flash, alors que ses concurrents Sony-Ericson offrent un appareil photo de 8 Mega pixels et un bi-flash à LEDs. La moyenne du marché en mars 2010 est de 5 Mpixels.
- concernant les fonctionnalités, le dispositif Nokia N97, un des plus puissants appareils de téléphonie mobile actuellement sur le marché, tout comme ses concurrents HTC HD2, ACER neoTouch, certains modèles Samsung, ou Motorola sous Androïd, présente la fonction multi-tâches qui permet de lancer plusieurs applications en même temps. L'Apple iPhone ne permet à l'utilisateur d'accéder qu'à une application à la fois.
- enfin, concernant la précision de l'écran tactile, la majorité des Smartphones tactiles actuellement sur le marché font appel à une technologie résistive⁵,

⁵Technologie résistive: La surface de la dalle est constituée de deux couches parcourues par un courant induit. La première couche est une dalle en verre au-dessus de laquelle se trouve une seconde couche en plastique souple qui est à la surface du téléphone. Quand on appuie sur un point précis de l'écran, la surface en plastique souple rentre en contact avec l'écran en verre. Lorsque les deux surfaces rentrent en contact, se crée alors une variation dans les champs électriques des deux faces, qui est retransmis en information.

technologie tactile plus ancienne et plus répandue que la technologie capacitive, et présentant une précision accrue ainsi que la possibilité d'agir sur la surface de l'écran avec n'importe quel objet, ou un doigt, voire un gant, mais avec le désavantage de présenter un temps de latence important, voire une réactivité inopérante parfois. A l'opposé de ses concurrents, Apple a fait le choix de la technologie capacitive, qui présente une précision moins importante que la technologie résistive, mais qui offre une impression de réactivité accrue et permet la prise en compte du geste d'effleurement, modalité d'interaction qui n'est pas possible via des dalles résistives.

En Europe, les parts de marché bien supérieures de l'Apple iPhone, 50% des ventes de Smartphones en 2010 en France [AGENCE-FRANCE-PRESSE, 2010], posent donc la question du rôle de l'interface dans le succès des produits. La qualité d'interaction d'Apple iPhone (voir figure 7) et de son écran « full-touch » (dalle capacitive multi-points qui apporte l'intuitivité et la fluidité) est une révolution, un accélérateur de la démocratisation des « objets-interfaces ».



Figure 7. Téléphone mobile Apple iPhone, objet électronique à contenu numérique, interface gestuelle 2D

En effet, *L'objet, c'est l'interface!* clame Jean-Louis Fréchin [FRECHIN, 2009-1], spécialiste du design numérique, et fondateur des Ateliers de Design Numérique à l'ENSCI⁶. Pour le designer de l'agence de design Nodesign les «néobjets», comme il les définit, résultent d'une extension du domaine des objets; les éléments informatiques embarqués apportent concrètement de la magie aux objets. « L'interface et le logiciel ne sont plus des ajouts, mais ils sont à proprement parler ces nouveaux artefacts, puisqu'ils déterminent les interactions que nous avons avec les objets ». Jean-Louis Fréchin plaide ainsi pour un nouveau mode de conception qui partirait non pas de l'objet physique, mais du service et de l'expérience souhaités.

⁶ Ecole Nationale Supérieure de Création Industrielle

Dans une analyse semblable, Daniel Kaplan [KAPLAN, 2009] constate que l'informatique quitte les écrans, qu'il s'agisse de caddies équipés de scanners, de terminaux de paiement ou encore du déploiement de puces RFID sur toute une série d'objets. «Quatre éléments constituent ce nouvel internet: des puces servant d'identificateurs et parfois équipées de capteurs, des bases de données, des réseaux omniprésents (wifi, cellulaires), des cartes servant à la représentation des informations collectées». Daniel Kaplan insiste sur le fait que les récits et représentations de cet internet des objets divergent entre les cultures, allant d'une intelligence ambiante et invisible en Europe à la reprogrammation ludique des objets du quotidien aux États-Unis, en passant par l'humanisation de la technologie et l'attrait pour les robots au Japon.

Rafi Haladjian, co-fondateur de la société Violet, [HALADJIAN, 2009] et créateur du Nabaztag, objet-interface de communication et « premier lapin intelligent connecté à internet » (voir figure 8), remarque non sans humour qu'« il y a au moins une entreprise qui gagne de l'argent en vendant des atomes, c'est Apple en face de si nombreuses entreprises qui en perdent en vendant des bits ».



Figure 8. Lapin communiquant Nabaztag

Ces designers d'« objets-interfaces » placent donc l'usage et la relation sensible entre l'homme et la machine au cœur du développement de ces nouveaux objets.

1.1.2. L'enjeu de la conception innovante des produits électroniques à contenus numériques

« À l'époque où les technologies numériques se généralisent (comme technologies cognitives et technologies culturelles) et où émergent les technologies transformationnelles (comme les biotechnologies et les nanotechnologies), il est nécessaire d'ouvrir un espace de réflexion sur les enjeux du design et de la conception industrielle », rappelle [COTTET, 2007], président de l'association Cap Digital, lors des premiers Entretiens du Nouveau monde industriel en novembre 2007 :

« Les mutations qui résultent [des technologies transformationnelles] et les contradictions que ces mutations génèrent imposent de repenser les pratiques du Design et de la Recherche et Développement, et leurs implications du point de vue social et économique ».

Selon Verdier, le modèle forgé au XIX^{ème} siècle, qui a conduit après la seconde guerre mondiale à la planétarisation de la société de consommation, semble de nos jours à la fois rencontrer ses limites et ouvrir de nouvelles possibilités, en renversant l'opposition producteur/consommateur (en particulier dans le domaine du numérique), et en conférant à la matière aussi bien qu'au vivant une plasticité jusqu'alors inconcevable [VERDIER, 2007].

La multiplication en nombre et en qualité des contenus numériques à la disposition d'un utilisateur et les capacités de stockage accrues des objets électroniques permettent, en effet, de conserver un grand nombre de contenus numériques (de type vidéos, images, textes, musiques), mais a aussi eu pour effet de rendre la manipulation et la navigation parmi ces contenus de plus en plus complexes.

Dans un entretien radiophonique du 28 décembre 2008, Rafi Haladjian exprime sa vision de l'évolution des objets électroniques et prophétise que l'économie des objets tourne le dos à l'objet unique qui permet de tout faire (GPS, photo, téléphone, etc) et s'ouvre sur une diversité croissante d'objets qui pourront tous, tout faire, mais avec des « déclencheurs d'actions singuliers ». Après l'accessibilité et le social, les maîtres mots de la nouvelle évolution seront la Désirabilité, l'Expérience, le Non Reproductible, le Sens ».

En attendant, nous assistons de plus en plus souvent, à un phénomène de désorientation de l'utilisateur (et plus particulièrement de l'utilisateur « novice ») puisqu'il lui devient impossible d'appréhender de façon immédiate l'espace des contenus numériques qu'il accumule. La technologie peut pratiquement tout, mais ce tout est « trop » pour l'utilisateur. En effet, l'accès à ces fonctions impose une logique computationnelle techno-centrée, qui échappe souvent à la logique exploratoire de l'utilisateur.

Rabardel a étudié les facteurs d'échec de certains outils dans certaines communautés d'usage, il analyse le manque d'adaptation de l'outil au contexte d'usage par le décalage et l'existence de conflits entre les schèmes⁷ d'usage réels et la technique d'utilisation projetée, probablement liés au manque de connaissances concernant ces schèmes en amont de la conception [RABARDEL, 1995-1].

Rabardel insiste sur l'importance d'adopter une position anthropo-centrée dans le cas de la conception d'activités instrumentées, auxquelles se rapportent les interfaces dont l'acception courante est Interfaces Homme/Machine. En effet, selon [RABARDEL, 1995-2], l'objet est une entité mixte qui tient à la fois du sujet et de l'artefact.

Dans le même sens, Lenay évoque l'objet en tant que dispositif de couplage entre le sujet et le monde [LENAY, GAPENNE et al., 2007]. Lorsqu'on prend comme point de vue le système technique, on ne retient de l'activité que ce qui est pertinent au regard des problèmes techniques, cette approche « techno-centrée », où la technique est première, est bien différente d'une approche « anthropo-centrée », où ce sont les activités psychologiques et sociales des personnes qui sont au premier plan. « Concevoir des technologies, c'est concevoir ce que les gens vont en faire, c'est penser les usages » rappellent [BRANGIER, BOBILLIER CHAUMON M.E. et al., 2002]. La nécessité de concevoir des systèmes techniques à partir d'une approche anthropo-centrée, c'est à dire d'une approche où les objets techniques sont délibérément conçus à partir de l'activité des utilisateurs et pour être au service de leur activité, constitue un enjeu majeur de la modernisation des situations de vie et de travail.

Ce que nous proposons dans cette thèse est une approche de la conception à la fois centrée sur l'objet en tant que système technique, mais aussi centrée sur l'individu en tant qu'interagissant avec le système social via le système technique. De par leurs

⁷ Un schème d'usage est une action organisée, structurée et généralisable d'une situation à une autre.

caractéristiques « complexes » - intégration de nombreuses fonctions, rôle encore plus éminent des interfaces - ces produits nous conduisent à un double questionnement relatif d'une part, aux représentations que le concepteur se fait des nouveaux besoins et d'autre part, aux effets de cette complexité sur l'activité d'usage des utilisateurs.

Dans le domaine de la conception des objets électroniques à contenus numériques, se pose la question de comment réduire la complexité d'accès à ces contenus sans réduire le nombre de leurs fonctionnalités. Les enjeux du monde numérique sont dans le monde matériel, et non derrière les écrans rappelle Dominique Sciamma, le recours à une approche holistique, telle que le design, semble s'imposer [SCIAMMA, 2009].

Vis à vis des représentations que le concepteur se fait des nouveaux besoins, le design et le marketing ne peuvent plus se donner comme seul objectif la conception d'objets désirables pour un consommateur dont les besoins et désirs auraient été pensés au préalable et indépendamment de l'interaction même » suggère François Sebbah dans son introduction au colloque « Interaction et cognition » le 22 janvier 2007 [SEBBAH, 2007].

L'enjeu de la conception des produits électroniques à contenus numériques, dépassant aujourd'hui la définition de la seule forme de l'objet et son esthétique, repose alors sur sa capacité à créer une esthétique de l'expérience rendue possible par l'objet-interface. Ce n'est pas la richesse de l'information qui importe pour l'utilisateur, mais la possibilité d'explorer cette richesse, souligne Charles Lenay, philosophe et Directeur de l'unité de recherche Costech de l'Université de Compiègne, [LENAY, GAPENNE et al., 2007]. C'est l'exploration qui permet à l'individu de constituer le monde, pas l'information. Dans le même sens, Bruno Bachimont, Directeur scientifique de l'Institut National de l'Audiovisuel [BACHIMONT, 2008] et Directeur à la Recherche de l'Université de Technologie de Compiègne définit les enjeux contemporains du design dans cette écologie du numérique comme « participant à la définition des instruments d'orientation et à la construction d'une ergonomie de la connaissance ». « L'enjeu n'est pas de concevoir des outils faciles d'usage, mais de les penser dans la perspective plus large d'une participation à une culture intellectuelle, de dépasser l'usage pour tendre vers la pratique ».

Saisir ces mutations en temps réel, les anticiper, y contribuer, est une condition essentielle de succès de nos projets, résume [VERDIER, 2008], dans l'avant-propos de

l'ouvrage collectif « Le design de nos existences : à l'époque de l'innovation ascendante ». Le nouvel enjeu n'est plus la technologie comme une fin en soi, mais l'exploration des possibles hybridations des services et des supports et leur matérialisation par le design, « force de proposition de composantes stratégiques, cognitives, relationnelles, formelles et émotionnelles des futurs services numériques » [FRECHIN, 2009-2].

Ces mutations et ces nouveaux enjeux constituent le contexte de la présente thèse.

1.2. Les problématiques que pose la conception de tels systèmes pour les équipes de conception

1.2.1. Verrou scientifique n°1

Depuis plusieurs décennies les entreprises ont réussi à implanter en amont de la conception de nombreuses méthodes d'évaluation subjective permettant de maîtriser la qualité perçue, esthétique visuelle et perception sensorielle, des produits qu'elles conçoivent (en design intégré ou externalisé) et fabriquent, *la question de l'expérience de l'utilisateur comme facteur différenciant les produits au delà de leur technologie et de leur qualité perçue pose un problème nouveau dans le champ de la conception.*

En effet, nous sommes face au double paradoxe⁸ de l'innovation et de l'ergonomie [THEUREAU and PINSKY, 1984], car classiquement, pour garantir l'acceptabilité d'un dispositif, son utilisabilité par un utilisateur, on s'appuie sur des expériences, observations ou enquêtes d'usage, telles que les pratique l'ergonome. Mais le problème est que pour effectuer ces tests, le dispositif devrait être déjà achevé ou suffisamment diffusé. Si au contraire, on essaie de s'appuyer sur des pratiques préalablement existantes pour définir des fonctionnalités à créer, et tenter de deviner les usages futurs, il n'y a pas de réelle invention.

« Le processus tâtonnant de l'évaluation est toujours en retard et ne peut être source d'inspiration pour la réussite de nouveaux produits », défend Charles Lenay.

Un des challenges des designers dans ce contexte de développement de produits de haute technologie, est d'anticiper l'expérience que l'individu va constituer lors de l'usage du produit ou du service qui a été conçu.

⁸ « Pour dire quelque chose de complètement fondé sur une situation de travail, il faut attendre qu'elle soit complètement conçue, mais alors il sera trop tard pour intervenir dans la conception » [THE84].

Et, dès lors, il nous paraît indispensable de (re)penser l'approche de la conception des interfaces de sorte à améliorer l'accès aux contenus et aux fonctionnalités des appareils numériques, et de rendre accessible tout au long de la conception les représentations du concept, qui, à défaut du produit final, matérialiseront le futur produit et permettront de guider l'innovation.

Dans ce contexte, un des challenges des équipes de recherche en conception et des équipes de Recherche et Développement des entreprises innovantes est de **repenser les méthodologies de conception de produits innovants de sorte à guider l'innovation.**

1.2.2. Verrou scientifique n°2

Comment, dans ce contexte de multiplication exponentielle des objets électroniques et des technologies numériques, et par voie de conséquence, d'augmentation des phénomènes de désorientation des utilisateurs, ***garantir les performances d'un produit quelle que soit la variabilité inter et intra utilisateurs*** ? Comment proposer des produits ou des services qui satisfont les attentes des clients non pas en leur proposant des solutions qui produisent une « insatisfaction » minimale, mais en tentant de produire des solutions qui satisfont le plus chaque utilisateur, chaque client, dont on sait par ailleurs la variabilité et la versatilité des préférences.

1.2.3. Verrou scientifique n°3

Face au foisonnement des possibles matérialisés sous la forme de représentations intermédiaires diversifiées : croquis, dessins, story-boards, sketch-models, maquettes d'aspects, démonstrateurs, prototypes..., se pose la question de la décision, de la manière d'évaluer et de retenir une piste d'innovation jugée comme pertinente au détriment d'une autre en regard à certains critères à un moment donné.

Dans ce contexte, il nous paraît intéressant de **(re)penser l'approche de la décision en conception**, en s'intéressant précisément à la relation entre le niveau de détail de la représentation intermédiaire et le niveau de définition du problème de conception, alors en cours de définition.

1.3. Objectif de la thèse

Le présent travail s'intéresse aux verrous n°1 et n°2, et a pour finalité de proposer une méthodologie de conception robuste de produits complexes innovants centrée sur l'expérience et prenant en compte la variabilité utilisateurs. Dans un premier temps, il est donc nécessaire de développer des modèles de compréhension de l'utilisateur, et de l'expérience que cet utilisateur constitue du monde dans lequel il agit, qui soient accessibles à l'ingénierie et opérationnels pour et dans le temps du projet afin de mettre en relation les variabilités liées à l'utilisateur et les paramètres du produit. Il s'agit donc de repositionner les méthodes d'évaluation du produit le plus en amont du processus de conception pour se démarquer d'une activité de validation une fois le produit fini. *Il s'agit aussi de caractériser les interactions entre les utilisateurs et le produit, de proposer des critères pour évaluer les performances des dispositifs d'interaction, générer des nouvelles techniques d'interaction, les contrôler et permettre de faire des choix objectifs et quantifiés garantissant la robustesse du produit.*

Enfin, il s'agit sur le plan théorique de repenser la question de l'identification des besoins réels des utilisateurs et par là même de définir un processus d'acquisition des connaissances qui permette leur émergence, et un processus de conception de ces produits technologiques qui permettent d'anticiper la façon dont l'objet fera sens pour l'utilisateur final.

Dans un contexte socio-technique en pleine mutation, quels sont les processus d'innovation permettant de faire face à l'enjeu de la conception innovante des produits électroniques à contenus numériques ?

C'est la question à laquelle nous nous proposons de répondre dans cette thèse.

1.4. Plan de la thèse

À la suite de l'exposé du contexte et de la problématique générale dans le chapitre 1, nous présentons, dans le chapitre suivant, un état de l'art des méthodes de conception (§2.1) et identifions l'approche propice à l'émergence de l'innovation. Nous présentons ensuite les méthodes de conception centrées sur les besoins utilisateurs rencontrées dans la littérature, exposons les avantages et les limites en regard à notre problématique ; il est important de rappeler que nous nous trouvons dans une situation où précisément les besoins liés à l'expérience utilisateur sont à identifier (§2.2). Nous détaillons ensuite les méthodes qui s'intéressent de près à l'intégration de la part subjective du besoin en conception, nous exposons aussi les avantages et les limites, dont la limite principale porte sur la nécessité de posséder une représentation suffisamment achevée du concept produit pour l'évaluer (§2.3). Le contexte technologique de cette thèse nous impose d'explicitier les notions de « perception » et d' « interaction », et les différentes approches théoriques de la perception (§2.4).

Le chapitre 3 expose le cadre théorique de la thèse. L'approche de la robustesse en conception est exposée dans la section 3.1. L'approche de design articulée avec une théorie de la perception et la théorie de conception robuste permet de comprendre et maîtriser les enjeux de la conception des objets-interfaces, objets de couplage entre l'individu et l'environnement, pour lesquels le corps joue un rôle particulièrement important, (et par conséquent le choix des modalités d'action) et pour lesquels il est important de pouvoir garantir que les performances du produit ne seront pas altérées par la variabilité inter et intra utilisateurs. La section 3.2 présente une application de la conception robuste à une problématique de design, enfin dans la section 3.3, notre proposition de méthode est exposée. La méthode s'articule en 3 étapes,

- l'identification des besoins par une approche de design, la collecte des préférences
- l'identification des facteurs différentiateurs exprimant une variabilité,
- l'intégration des facteurs de variabilité en conception.

Le chapitre 4 présente un cas d'application de la méthodologie à la conception d'un nouveau dispositif de lecture musicale. Le chapitre 5 concerne l'innovation, et porte sur un cas d'application de la méthodologie à la conception innovante d'un dispositif de

communication interpersonnelle. La conclusion et les perspectives sont présentées dans le chapitre 6. Le détail de chaque chapitre est présenté dans la table 1 ci-dessous.

1. Présentation synthétique de la présente thèse

chapitre 1	Contexte industriel	Enjeux		Objectifs	
	Conception des objets-interfaces (produits électroniques à contenus numériques)	Enjeu industriel : Innover et se démarquer de la concurrence Enjeu scientifique : Méthodologie de conception des objets-interfaces		Concevoir des objets-interfaces qui plaisent à la vue et à l'usage, qui offrent une expérience riche à l'utilisateur Réduire la complexité d'accès sans réduire le nombre de fonctionnalités Garantir que les performances du futur produit ne seront pas altérées par la variabilité inter et intra utilisateurs	
Problématique de recherche					
chapitre 2	État de l'art				
	Méthodes de conception Organisation séquentielle Organisation concurrente	Méthodes de conception centrées sur les besoins Analyse fonctionnelle Conception axiomatique Conception robuste	Méthodes d'intégration de la part subjective du besoin en conception	Théories de la perception Perception sensorielle Perception active	Design Thinking Méthodes d'exploration des besoins utilisateurs Design de produits Design participatif Cultural probes Product Relabelling Genèse instrumentale
chapitre 3	Cadre théorique de notre proposition Conception Préliminaire Robuste				
	Étape 1 Utilisation des méthodes d'exploration des besoins utilisateurs et de co-émergence Produits-Besoins	Résultats Etape 1 Identification et spécification des besoins	Etape 2 Évaluation subjective : Tests de préférences Analyse sensorielle	Résultats Etape 2 Identification des critères de variabilité inter-utilisateurs	Etape 3 Conception robuste intégration des paramètres de variabilité en conception
chapitre 4	Cas d'application n°1 Conception d'un produit nouveau				
	Étape 1 Exploration des besoins utilisateurs Entretiens semi-directifs, design sketching.	Résultats Etape 1 Identification et spécification des besoins	Etape 2 Tests de préférences Profils Flash catégorisation des groupes de préférences	Résultats Etape 2 Identification des critères de variabilité inter-utilisateurs	Etape 3 Conception robuste intégration des paramètres de variabilité en conception
chapitre 5	Cas d'application n°2 Innovation				
	Étape 1 Exploration des besoins utilisateurs Entretiens semi-directifs, cultural probes, sketch-models, tests utilisateurs potentiels.	Résultats Etape 1 Identification et spécification des besoins	Etape 2 Dessins, tests de préférences	Résultats Etape 2 Identification des critères de variabilité inter-utilisateurs	Etape 3 Conception robuste intégration des paramètres de variabilité en conception
chapitre 6	Conclusion				

2. Chapitre 2

État de l'art

2.1 Organisation de la conception

La conception peut être définie comme une activité cognitive ou comme un processus. Nous nous intéressons à cette seconde acception et tentons de décrire dans cette section les différents modèles descriptifs de l'activité.

2.1.1 Modèles d'organisation séquentielle

L'activité de conception a été dès le début du 20^{ème} siècle pensée comme une activité de résolution de problèmes [SIMON and LE MOIGNE, 2004] et structurée en tant que processus dans un objectif d'efficacité et de performance [SIMON and LE MOIGNE, 2004]. Le processus est ainsi formalisé en trois grandes phases : depuis l'amont par l'étude de faisabilité, la spécification technique des besoins jusqu'à l'aval par le développement et la fabrication d'un produit en série.

Le modèle de Pahl et Beitz présenté en figure 9 est accepté comme un standard décrivant le processus de conception de produits [PAHL and BEITZ, 1984]. Ce modèle est prescriptif, il décrit la conception comme une succession de phases organisées sous la forme séquentielle suivante:

- définition du cahier des charges ou du problème à résoudre,
- conception de principes, recherche de concepts (« *conceptual design* »),
- conception d'ensemble, recherche d'architecture produit (« *embodiment design* »),

- conception détaillée (« *détail design* »)

Ce schéma montre, comment, par séquences et boucles itératives, le design évolue à partir d'une idée peu définie au départ vers un état de spécification abouti. Chaque étape étant accompagnée d'un état de représentation intermédiaire du produit, tel que le cahier des charges, l'esquisse, la maquette, le démonstrateur et le prototype.

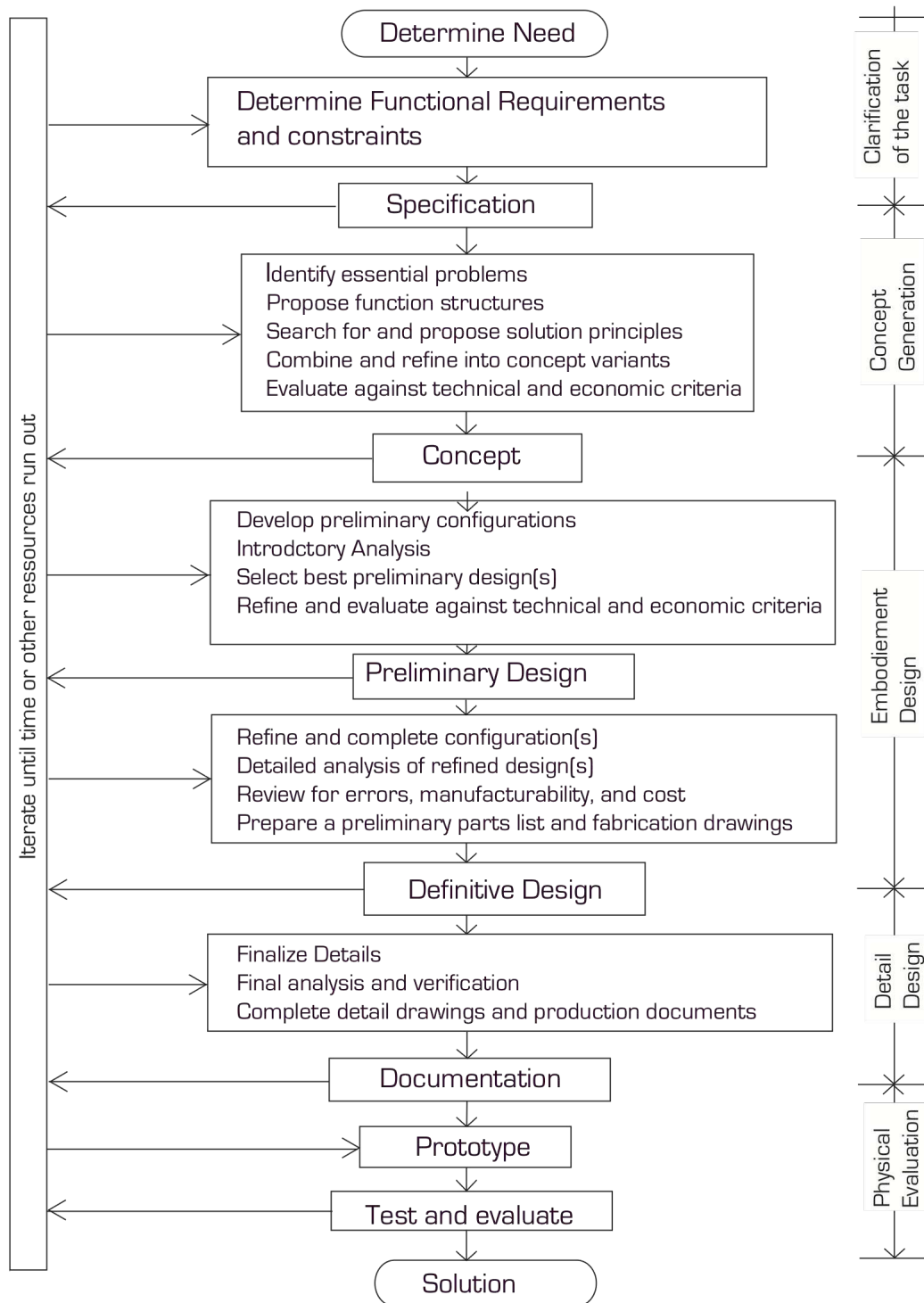


Figure 9. Modèle du processus de conception par phases de Pahl & Beitz

Ce modèle⁹ prescriptif idéalisé de la conception prend en compte le concept de « rationalité limitée » en conception, développé par Simon, qui introduit les facteurs humains dans la modélisation des processus de conception, et fait évoluer l'objectif de conception d'une « solution optimum » vers la notion de « solution satisfaisante ». Il permet de décrire l'activité de conception non pas comme une démarche de résolution d'un problème unique par une solution unique, mais comme une démarche de résolution d'un problème posé de façon contextualisée, dépendante du « point de vue » du concepteur et dont l'évolution peut amener à reconsidérer le problème initial et donc le couple problème/solution. En conception le « point de vue » correspond à la façon de penser du concepteur, la différence de niveau d'abstraction qu'il aura face à une démarche de résolution de problème vis-à-vis d'un autre concepteur (Da Luz citant Darses et Falzon 1994, dans [DA LUZ, LOUP-ESCANDE et al., 2009]. Selon le concepteur, la démarche de conception pourra aboutir à une ou plusieurs solutions, à plusieurs façons de résoudre le problème posé. « Ainsi les choix faits en amont dans le processus de conception, le choix d'une piste de travail précise, le choix d'une cible d'utilisateur, ou tout autre élément faisant partie de la démarche de conception et donc de résolution d'un problème défini, sont issus du point de vue spécifique du concepteur » ou « du croisement de la multitude des points de vue en conception collaborative ».

Le travail de Donald Schön [SCHÖN, HEYNEMAND et al., 1994] souligne l'importance de prendre en compte l'activité réflexive du concepteur dans l'activité de conception. Il s'appuie sur le concept de cognition située, ou d'action située, pour considérer la circulation entre savoirs techniques et expérience individuelle. Le concept de « pratique réflexive » développé par Schön décrit le concepteur comme mobilisant à la fois ses propres expériences et ses connaissances techniques, dans une approche non structurée, dirigée et réglée par sa compréhension même du projet de conception. Choulier rappelle le rôle réflexif du concepteur en décrivant l'activité de conception comme une « activité de dialogue avec l'objet, un jeu de définitions conjointes aux

⁹ Actuellement, ce modèle, malgré les doutes sur le suivi réel des procédures préconisées par les concepteurs, représente le modèle de référence et la base sur laquelle la norme Outils de management - Maîtrise du processus de conception et développement (AFNOR X50-127) est construite. Elle présente les principes généraux relatifs à la maîtrise du processus de conception, et les recommandations pour assurer la maîtrise et l'efficacité du processus de conception et développement. Les étapes du processus comprennent la prise en compte des besoins, la préparation des solutions possibles, le choix de la (ou des) solution(s) acceptable(s) à développer, l'étude détaillée de la (ou des) solution(s) retenue(s), la validation, la modification de la conception.

différentes vues du produit¹⁰ » et prenant en compte le fonctionnement de l'objet dans son environnement [CHOULIER, 2008]. Il décrit le caractère dynamique de la conception comme une recherche permanente de liens entre les vues circulant entre le monde de l'interne (caractéristiques structurelles et comportementales intrinsèques au système) et le monde de l'externe (éléments que le concepteur choisit de prendre en compte : utilisateur, milieu extérieur, sollicitations).

La conception est une activité qui met en jeu plusieurs mondes et qui doit être approchée dans toute sa complexité.

Darses a identifié diverses spécificités des problèmes de conception, par définition « mal définis » ([DARSES, DÉTIENNE et al., 2001] citant Simon, 1973; Greeno, 1978 ; Cross, 1986; Goel & Pirolli, 1989 ; Falzon et al., 1990) :

- « le problème à traiter est incomplètement défini, ce qui entraîne une prise en compte progressive de données nouvelles » [DARSES, 1997].
- « les phases consécutives d'analyse du problème puis de résolution de ce problème s'effectuent en interaction et sont construites simultanément ».
- « il n'y a pas de chemin de résolution prédéterminé de conception, on connaît un certain nombre de procédures utiles, de méthodologies, mais il faut à chaque fois recombinaison, sinon réinventer, des stratégies pour élaborer une solution ».
- « les problèmes tendent à être larges et complexes. On entend par là qu'ils ne sont pas circonscrits, généralement, à des problèmes locaux, et que les variables et leurs interrelations sont trop nombreuses pour pouvoir être scindées en sous-systèmes indépendants ».
- « les solutions à un problème de conception ne sont pas uniques (contrairement à un problème de diagnostic, par exemple) mais font partie d'un ensemble de solutions acceptables »
- « pendant la formulation des spécifications, l'évaluation des solutions est difficile à réaliser autrement que par un travail mental de simulation cognitive, sur la base de simulations graphiques ou de maquettes rendant parfois mal la réalité »

¹⁰ articulation des domaines du besoin, fonctionnel, comportemental et structurel.

- « l'évaluation du produit est donc différée aux phases de développement, les éventuelles remises en question de choix de conception pouvant s'avérer fort coûteuses ».

Cette complexité intrinsèque de la conception implique de repenser de nouveaux modes de conception de sorte à aider la résolution de ces problèmes.

2.1.2 Modèles d'organisation concourante

Dans son travail de thèse sur la démarche de conception collaborative, Minel décrit le rôle du concepteur de proposer des innovations répondant aux attentes révélées ou latentes des consommateurs. Aussi, aider les concepteurs à prendre en compte au plus tôt ces attentes des utilisateurs est une solution pour l'entreprise d'offrir à ses clients des prestations innovantes [MINEL, 2003].

Selon [CAELEN, 2004], le but de l'ingénierie concourante est de mettre en œuvre un travail collaboratif impliquant toutes les disciplines devant concourir au développement du produit (concepteurs, service commercial, service qualité, production, service de maintenance, clients, utilisateurs, etc.). Son principe est de faire tomber les barrières entre conception d'une part (incarnée par le bureau d'étude) et production d'autre part (incarnée par l'atelier de fabrication).

Selon [DARSES, 1997], les organisations classiques de la conception trouvent leurs limites dans le séquentiel du processus sur lequel elles s'appuient, qui se heurte à la démarche effective des concepteurs. « Il semblerait que les concepteurs ne suivent pas les procédures préconisées, en effet, la séparation formelle que ces organisations introduisent entre l'analyse du problème (phases amont) d'une part, et la prise de décision et l'action (phases aval) d'autre part, est en contradiction avec l'interdépendance qui existe entre les deux phases de génération et évaluation de solutions ».

En conception préliminaire, le concepteur se trouve face à un paradoxe car, tenu d'énoncer seulement les fonctions du produit, il doit éviter de se compromettre sur des idées de solution qui satisferont les contraintes initialement sélectionnées, alors que sa qualité de concepteur le conduit à évoquer, du fait même de la formulation des contraintes associées aux fonctions, des idées de solution. Rosier a formulé deux conséquences de ce paradoxe de la conception [ROSIER, 2005] :

- « les théories de la conception utilisées par les ingénieurs sont efficaces mais renouvellent peu les architectures des produits existants »,
- « dans les méthodes de créativité, la génération des concepts s'opère en amont du processus de développement et a très peu d'interactions avec celui-ci ».

Selon Darses, l'ingénierie concourante représente un modèle en meilleure adéquation avec les processus cognitifs de conception, car tendant à dissiper le paradoxe décrit ci-dessus.

De même, [CULVERHOUSE, 1995] cité dans [DARSES, DÉTIENNE et al., 2001] met en doute l'efficacité des méthodes séquentielles pour la conception de produits radicalement nouveaux. S'appuyant sur un travail d'enquêtes réalisé pendant 3 ans auprès d'entreprises européennes, américaines et asiatiques, il montre que celles-ci ne réussissent pas à maîtriser et à améliorer le processus de conception (en particulier, sa durée) avec autant d'efficacité qu'elles l'ont accompli pour le processus de production.

Il est rapporté que l'auteur observe que les entreprises européennes et britanniques rencontrées, engagées dans le développement d'un nombre très petit de produits entièrement nouveaux, contribuaient finalement pour la plupart à des améliorations incrémentales de produits existants, il explique ainsi le fait que très peu de ces entreprises aient adopté avec succès l'approche d'ingénierie concourante. L'auteur montre la difficulté que rencontrent les concepteurs à s'éloigner de l'approche séquentielle traditionnelle de développement de produit pour parvenir à une approche d'ingénierie concourante et à des innovations de rupture.

Les entreprises qui pratiquent l'innovation de rupture, comme certaines entreprises asiatiques considérant la conception comme une activité stratégique pouvant effectivement être managée et contrôlée par une approche d'ingénierie concourante, portent leurs efforts croissants sur la prise en compte du contexte social et des styles de vie dans lesquels les produits sont utilisés.

Nous verrons dans les sections suivantes les approches d'ingénierie centrée sur l'Homme.

Les années 1990 ont vu le développement d'un important courant de recherche sur la place de l'innovation dans la stratégie et la transformation des processus de conception. [LENFLE and MIDLER, 2002] rapportent que l'un des apports de ce courant est de mettre au premier plan l'importance de la notion de création de connaissance dans le processus d'innovation. Les travaux de Nonaka et Takeuchi, et

plus récemment les travaux de Yamanaka et Levy sur le Kansei [LEVY, DAHYUN Kim et al., 2009], s'appuient sur une typologie des connaissances (explicites et tacites) et sur leurs transformations lors du processus d'innovation. Hatchuel a proposé plus précisément de modéliser le raisonnement de conception, et de caractériser l'articulation entre le processus de création de connaissances et le processus de création de produits, par la théorie C-K, théorie unifiée¹¹ de la conception [HATCHUEL and WEIL, 2002]. Cette théorie de la conception rend compte de l'exploration et de l'émergence de l'unique, de l'inattendu, de cette « capacité d'expansion » en tant qu'aptitude du processus de conception à générer du « nouveau », propre au travail de l'artiste, et en tant qu'aptitude à développer les connaissances scientifiques et techniques propres au travail du concepteur. L'activité de conception a des « capacités d'expansion » auxquelles le contexte concurrentiel industriel actuel exhorte de recourir.

Selon Hatchuel, la conception innovante relève aussi bien de l'expansion-exploration des nouveaux mondes, que de l'expansion-développement des connaissances. Selon Brunel, au cours des dernières décennies la connaissance est devenue un enjeu majeur au sein des entreprises, la maîtrise technologique et les moyens de production n'étant plus les seuls éléments stratégiques [BRUNEL, ZOLGHADRI et al., 2008].

Le concept d'intelligence collective développé par [LEVY, 2006] dans son travail de thèse portant sur le développement d'un nouvel outil de communication pour le cyberspace, est basé sur le Kansei, et prend en compte la connaissance tacite et implicite, individuelle et collective des groupes de travail interdisciplinaires en conception.

Dans ce contexte, les phases amont des projets de conception (avant-projets, études préliminaires, projets de R&D) constituent des périodes propices à l'introduction d'innovations technologiques, or ces phases préparatoires aux projets présentent des difficultés. En effet, comme nous l'avons décrit au paragraphe 2.1.1, certains acteurs sont parfois tentés d'explorer de nouvelles alternatives innovantes basées par exemple sur de nouveaux concepts de solutions techniques, sur des nouvelles technologies ou sur l'introduction de technologies utilisées dans d'autres secteurs d'activités. Ils

¹¹ Pour les 3 traditions de conception principales suivantes : celles des designers, concepteurs et chercheurs

influencent par là même l'activité de conception en posant le problème sous une forme qui enferme le champ des solutions par l'induction d'une solution en particulier.

La question initiale de cette thèse trouve un écho dans les questions posées par les auteurs de l'ouvrage « Les processus d'innovation, conception innovante et croissance des entreprises » [LE MASSON, WEIL et al., 2006] : « Comment les firmes peuvent-elles se doter de ces capacités d'expansion¹² et s'en servir ? » « Comment, dans ces conditions, gérer l'activité de conception innovante ? » « Comment penser des fonctions sans connaître a priori les techniques existantes ? Comment concevoir lorsque les connaissances et l'identité des produits connaissent des évolutions déroutantes et nouvelles ? Comment innover quand on ne sait plus ce qu'on doit inventer ? »

La section suivante présente plusieurs méthodes qui intéressent notre problématique de recherche. Elles établissent un lien entre l'expression du besoin de l'utilisateur et les spécifications des fonctions du produit dans la phase amont de conception. Nous gardons à l'esprit l'existence des trois types principaux de conception présentés par Hatchuel, et leur capacité d'expansion particulière. Nous verrons dans cette section les apports des méthodes de conception propres aux concepteurs (expansion des connaissances), et dans la section suivante les apports de l'exploration raisonnée des possibles propres à l'artiste (expansion de l'espace des concepts).

2.2 Méthodes de conception

2.2.1 L'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle, apparue aux Etats Unis dans les années 1940, et décrite en France par la norme [AFNOR, 2008], définit les notions de fonction de service externe à la solution et de fonction technique interne à la solution [YANNOU, 2001]. L'analyse fonctionnelle s'applique à la création ou à l'amélioration d'un produit, elle est alors l'étape fondamentale de l'analyse de la valeur. « L'analyse de la Valeur est une méthode de compétitivité [des entreprises], organisée et créative, visant la satisfaction du besoin de l'utilisateur [client] par une démarche spécifique de conception [de produits, systèmes, services], à la fois fonctionnelle, économique et pluridisciplinaire ». C'est une méthode opérationnelle pour susciter et organiser l'innovation.

¹² Selon Le Masson, Weil et Hatchuel, l'activité de conception innovante, au delà de mobiliser des connaissances existantes, étend le champ des connaissances.

Avantages de l'analyse fonctionnelle

Appliquée au seul besoin, l'analyse fonctionnelle est la base de l'établissement du cahier des charges fonctionnel. Elle fait émerger l'expression du besoin qu'elle traduit en fonctionnalités du produit, caractérisées, ordonnées, hiérarchisées et valorisées. Elle permet ainsi de dégager les fonctions principales ou d'usage, les fonctions de contrainte et les fonctions complémentaires nécessaires à la réalisation du produit et satisfaisant le besoin identifié.

Limites de l'analyse fonctionnelle

Selon Petiot [PETIOT, 2004], l'analyse fonctionnelle s'avère efficace pour traiter la part objective du besoin, définie avec les fonctions d'usage du produit, mais elle s'avère beaucoup plus délicate à mettre en œuvre sur la partie subjective du besoin, traduite par les fonctions d'estime¹³.

2.2.2 La conception axiomatique

L'approche axiomatique de la conception [SUH, 1995] fournit une structure théorique générale pour la conception, en définissant des règles basées sur deux axiomes (indépendance et information). Cette méthode aide les concepteurs à définir les bonnes relations entre fonctions et paramètres physiques pendant le processus de développement des produits. La Conception Axiomatique est une méthode très utilisée dans le milieu de l'industrie américaine et asiatique pour la conception de produits.

Limites de la conception axiomatique

De la même façon que pour l'analyse fonctionnelle, la conception axiomatique s'avère inefficace pour prendre en compte la part subjective du besoin. Elle suppose que l'on soit capable d'explicitier le besoin a priori, ce qui n'est pas le cas en conception innovante.

2.2.3 La conception robuste

La conception robuste vise à garantir les performances d'un produit quelle que soit la variabilité subie par ce produit dans son cycle de vie. Peuvent être source de variabilité des facteurs liés au contexte de production comme des facteurs liés au contexte

¹³ Fonction d'estime : fonction de service liée au goûts des utilisateurs, donc perçue a priori différemment selon l'utilisateur.

d'usage. Il s'agit de combattre la variabilité subie, non pas en supprimant les causes (ce qui est en général impossible ou fort coûteux), mais en recherchant une conception du système qui en limite les effets.

La démarche de conception robuste a été introduite par Genichi Taguchi [PARK, 1996] pour permettre aux ingénieurs de bureau d'études de prendre en compte la robustesse dès la phase de conception. Un produit dont les performances sont peu altérées par la variation des conditions dans lesquelles il est amené à fonctionner est dit robuste [CHERFI, 2005].

La pertinence de cette démarche est unanimement reconnue, même si sa mise en œuvre n'est pas toujours simple. Son utilisation nécessite l'acquisition d'une bonne expérience dans la formalisation des problèmes techniques. Une meilleure connaissance de la qualité perçue d'un produit conduirait à des améliorations de la qualité du produit, dès sa conception. Maîtriser les performances d'un produit, c'est en garantir la robustesse, composante essentielle de la qualité d'un produit.

Selon [SATO, 2005], les performances d'un produit dépendent du contexte dans lequel il est utilisé. Une meilleure connaissance de la variabilité des contextes d'usage conduirait à des améliorations de la robustesse du produit.

Selon [YANNOU, 2001], une grande difficulté en conception préliminaire reste l'estimation des performances d'un concept de produit.

Limites des méthodes

Pour être efficaces, ces méthodes présupposent une explicitation préalable du besoin, une définition des attentes des utilisateurs finaux qui puissent être traduites en termes de paramètres de conception grâce à ces méthodes.

De plus, elles présupposent aussi que l'on soit capable de décomposer cette part subjective du besoin en plusieurs parties, et que l'on puisse définir au préalable des critères d'évaluation pertinents pour chacune de ces parties [PETIOT, 2004]. Ces méthodes de conception systématiques ne sont pas adaptées pour intégrer la part subjective du besoin en conception.

Nous verrons, dans la section suivante, quelles méthodes permettent d'intégrer cette part subjective, quels en sont les contextes d'application et quelles en sont les limites.

Nous avons en tête d'articuler les méthodes d'identification des besoins dont la satisfaction apporte une forte valeur ajoutée, dans un processus de conception robuste,

de sorte à garantir les performances du concept-produit dès les phases préliminaires du processus de conception.

2.3 Intégration de la part subjective du besoin en conception

Il est intéressant de présenter, et de comparer, afin d'en comprendre les mécanismes, les différentes approches d'ingénierie centrée sur l'Homme, méthodes d'évaluation et méthodes de conception, portant sur la partie subjective du besoin, la qualité perçue, l'apparence extérieure du produit, l'utilité, la marque, l'expérience, autant de facteurs qui contribuent à la réussite commerciale d'un produit.

Nous assistons depuis le début des années 90 à un effort considérable pour améliorer la qualité des produits en vue de satisfaire le client : l'industriel concepteur est devenu de plus en plus à l'écoute de la voix du client [CRIN, 1997].

L'évaluation subjective¹⁴ entre dans le cadre de démarches qualité visant à l'amélioration de formulations par exemple ou la création de nouveaux produits.

La qualité signifie, en plus de la fiabilité, et selon le produit, un certain nombre d'aspects subjectifs : perception visuelle, olfactive, toucher, goût, odeur, impressions kinesthésiques, appréciation subjective du confort. Tous ces critères subjectifs fortement liés à la personnalité du client sont très difficilement objectivables et chiffrables, ainsi la mise en place de méthodologies et d'outils associés pour réaliser l'évaluation subjective des produits est un enjeu important des entreprises.

De nombreux laboratoires travaillent sur la problématique de la qualité perçue et de l'intégration des facteurs esthétiques et sensoriels dans le processus de conception, de la modélisation des attributs perceptifs du produit industriel, ou encore sur les approches statistiques de génération des formes innovantes pour la maîtrise de la qualité perçue.

Dans cette section, nous décrivons les processus rencontrés dans l'industrie, les méthodes d'intégration des aspects subjectifs des clients finaux en amont de la conception, ainsi que les limites de ces méthodes et les questions qu'elles posent.

¹⁴ L'évaluation subjective est un ensemble de méthodes consistant à intégrer le ressenti, les impressions, les sensations du consommateur dans la conception d'un produit, de sorte à améliorer sa qualité perçue.

2.3.1 L'analyse sémantique

A la fin des années 1950, le psychologue Charles E. Osgood a développé l'analyse sémantique, une méthode d'évaluation et de visualisation dont le but est de représenter graphiquement les différentes connotations associées à un mot par différents individus [OSGOOD, SUCI et al., 1957].

L'analyse sémantique est une méthode descriptive qui sert à mesurer l'efficacité d'un message (connotations). En conception de produits, l'analyse sémantique sert à évaluer dans quelle mesure le produit transmet effectivement le message souhaité par le concepteur, cette méthode permet de décrire et de comparer les produits et de fournir ainsi des critères de décision en amont de la conception par l'intermédiaire d'un outil de mesure, le Différentiel Sémantique.

La figure 10 représente le système de relations qui existe entre le client et l'environnement, et l'intervention de l'analyse sémantique pour accéder aux informations d'ordre connotatif du client dans sa relation avec l'objet (situé dans l'environnement).

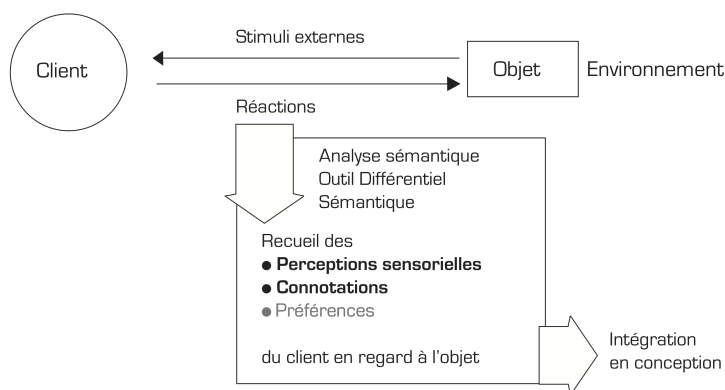


Figure 10. Intégration du différentiel sémantique dans la conception d'objet centrée sur la perception

Cette méthode vient, en complément des autres méthodes d'évaluation (sensorielle, ou d'usage), contribuer à réduire le décalage, dès l'amont de la conception, entre les bénéfices projetés par l'entreprise sur le produit et les bénéfices réellement perçus par l'utilisateur. Néanmoins, elle repose par nature sur un système d'échelles et de qualificatifs imposés, qui peuvent ne pas correspondre à la perception du sujet interrogé ou être incomplets pour décrire la perception de certains sujets. D'autres méthodes basées sur l'étude des différences de perception par les sujets sont aussi

utilisées, s'affranchissant ainsi des problèmes liés à la polysémie des mots (voir PrEMO, §2.3.4).

2.3.2 L'évaluation sensorielle

Les méthodes d'évaluation sensorielle consistent à analyser les propriétés organoleptiques des produits par les organes des sens, (la vue, l'ouïe, le goût, l'odorat et le toucher) de sorte à comprendre les facteurs qui structurent les préférences des consommateurs [SSHA and SZTRYGLER, 1998].

Les industriels de l'agro-alimentaire, à l'origine de cette approche, ont été confrontés les premiers à un problème méthodologique important engendré par l'une de ses caractéristiques essentielles : l'absence de référence ou plutôt l'impossibilité de définir une mesure étalon. Les raisons de cette impossibilité sont multiples :

- l'existence de différences physiologiques entre les individus qui conduisent à des perceptions objectivement différentes sans que l'une puisse être considérée comme meilleure que l'autre,
- l'existence de différences culturelles entre les individus qui conduisent à une grande diversité d'expression de sensations.

Pour palier cette difficulté, un ensemble de techniques ont été proposées pour donner naissance à l'analyse sensorielle. Celle-ci s'est rapidement imposée comme un outil performant de décision.

L'analyse sensorielle distingue trois sous-ensembles méthodologiques :

- les méthodes de **discrimination des produits**: il s'agit de déterminer une liste de descripteurs sensoriels qui caractérisent l'ensemble des produits et permettent de les discriminer
- les méthodes de **description des produits**: sélection et entraînement des experts à évaluer les produits de sorte à produire pour chaque produit un « profil sensoriel »
- les méthodes de mesures de **préférence (hédonique)** des produits : corrélation des mesures de préférences des consommateurs, obtenues par des enquêtes hédoniques, aux profils sensoriels des produits, et ainsi prédiction à un temps donné et pour une population identifiée, du profil sensoriel idéal et le plus apprécié.

L'analyse sensorielle est aujourd'hui largement répandue dans divers domaines de l'industrie manufacturière, cosmétique, automobile, téléphonie mobile, électroménager, ou encore dans le secteur du sport.

Les industries matures maîtrisant la qualité perçue des produits qu'elles développent et soucieuses de mieux satisfaire les attentes explicites et latentes de leurs clients sont à la recherche de méthodes permettant d'aller plus vite et plus loin dans la maîtrise de la qualité perçue, elles engagent des moyens importants dans l'exploration des paramètres affectifs des clients (réels et potentiels).

La figure 11 illustre le système de relation qui existe entre le client et l'objet dans l'environnement, et pointe l'analyse sensorielle comme moyen de mesurer l'interaction entre un client (perception sensorielle et préférences) et un objet.

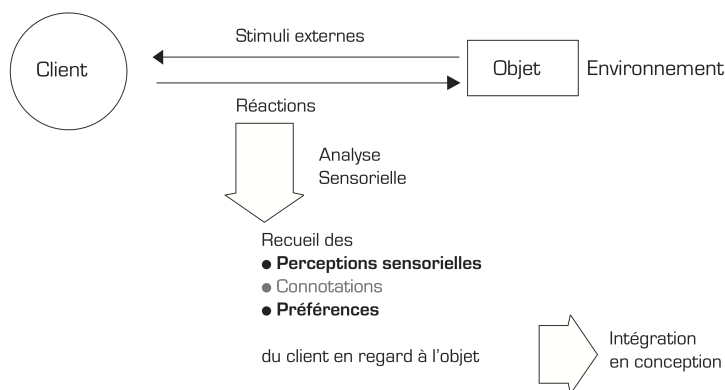


Figure 11. Intégration de l'analyse sensorielle dans la conception d'objets centrée sur la perception

2.3.3 Le Kansei engineering

Le Kansei, terme japonais traduit en français par le « sens mental de la subjectivité », relève en réalité d'une définition complexe, mettant en jeu 5 dimensions [LEVY and YAMANAKA, 2008].

- Kansei is a subjective and unexplainable function.
- Kansei, besides its innate nature, consists of the cognitive expression of acquired knowledge and expérience.
- Kansei is the interaction of intuition and intelligent activity.
- Kansei is the ability of reacting and evaluating external features intuitively.
- Kansei is a mental function creating images.

La figure 12 illustre le processus de Kansei selon [LEVY, 2006], mettant en avant les relations qu'un sujet construit avec l'environnement, et les trois modes du kansei : perception, élaboration d'une réaction subjective, conceptualisation, déclenchés par l'environnement via des stimuli externes.

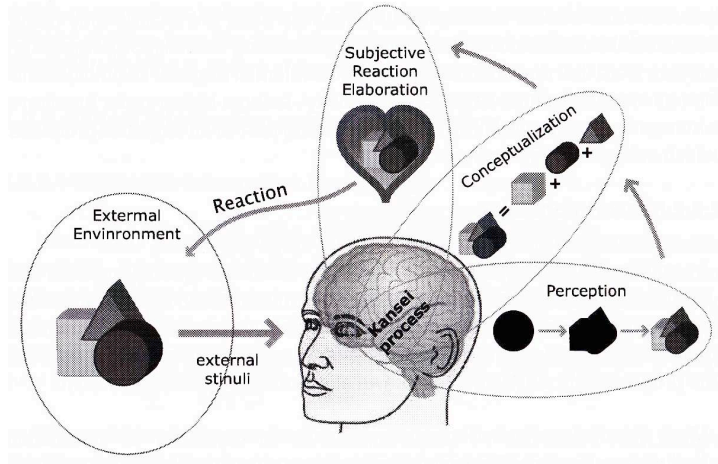


Figure 12. Le processus de Kansei [LEVY, 2006]

Le Kansei Engineering, ou Kansei Kougaku, est une méthode de conception de produits orientée vers le consommateur, étudiant les interactions entre le client et le produit, c'est à dire entre les attributs physiques du produit et son influence sur le consommateur à un niveau affectif. Cette méthode a été développée au Japon par Mitsuo Nagamachi dans les années 70 pour l'industrie automobile et est maintenant largement répandue dans différents secteurs de l'industrie japonaise.

Selon cette méthode, il est possible de comprendre les attentes des clients potentiels, et de réduire l'incertitude quant à la satisfaction de leurs préférences.

Le laboratoire de Kansei and Comprehensive Human Sciences de l'Université de Tsukuba travaille sur l'intégration des facteurs émotionnels dans le processus de conception, de sorte à rendre exploitables, en amont de la conception, des connaissances sur la subjectivité de l'utilisateur [LEVY, 2006], [LEVY, DAHYUN Kim et al., 2009].

D'autres laboratoires développent une approche Kansei, visant à traduire des facteurs subjectifs, sensoriels ou sémantiques, en caractéristiques techniques directement exploitables par l'ingénierie. Au Japon parmi les autres laboratoires pratiquant cette approche nous pouvons citer Keio University, Japan - Department of Industrial Design, National Cheng Kung University, Taiwan - Nissan Research Center, Yokasuka, Japan - Department of Industrial and System Engineering, Hiroshima University, Japan.

2.3.4 L'analyse des paramètres affectifs

A services égaux, deux produits se distinguent par leur identité, leur facilité d'usage et leur capacité à engager l'utilisateur dans une expérience qui fait sens pour lui. Selon Masaaku Kurasu, cité dans [LACROIX, 2003], l'esthétique et l'utilisabilité d'un produit sont liées, la première affectant le jugement que l'on porte sur la facilité d'usage du produit. L'esthétique et l'interaction sont deux concepts mêlés, davantage que des entités séparées [DJAJADININGRAT, OVERBEEKE et al., 2000-1], leur corrélation n'est pas immédiate et repose en partie sur le savoir faire du designer, ou de l'équipe impliqués dans la conception du produit, à réaliser un contexte pour l'expérience plus qu'un simple produit [OVERBEEKE, DJAJADININGRAT et al., 2005]. La laideur se vend mal, clamait déjà R. Loewy en 1953 [LOEWY, 1953], quand c'est beau, ça marche mieux nous annonce Kurasu. Mais selon quel processus ?

Dans son dernier ouvrage « Why we love (or hate) everyday things », Norman [NORMAN, 2004] introduit l'émotion comme étant le maillon reliant l'esthétique à la facilité d'usage, le système émotionnel pouvant changer le mode opératoire du système cognitif.

Il y explique comment l'émotion déclenche le comportement plus ou moins habile de l'utilisateur à résoudre un problème, et ainsi selon son état émotionnel, à être capable ou non de penser de façon créative à des solutions alternatives, et donc à utiliser le produit.

« Considérée depuis l'antiquité comme une perfectibilité de l'âme humaine qu'il faudrait autant que faire se peut, sinon combattre, du moins réfréner et raisonner [FEILDEL, 2007], l'émotion serait reconnue aujourd'hui non seulement comme un outil au service de la connaissance du monde et de la conduite rationnelle, mais comme le fondement même de la connaissance de soi, connaissance qui procède du corps » [LACROIX, 2003]. La capacité à raisonner, à prendre des décisions, est ancrée dans notre être émotionnel. La raison et l'émotion ne sont pas antagonistes, l'émotion est fortement liée à la capacité de raisonner, l'émotion est comprise comme une combinaison de fonctions cognitives et de sensations affectives [DAMASIO, 1995].

Prenant en compte l'être humain dans son intégralité comme point de départ en conception de produits, se pose la question de l'introduction de ce paramètre affectif dans le processus de conception. Comment maîtriser l'intérêt et l'attrait de l'utilisateur

final dès l'amont de la conception ? Comment maintenir l'état d'excitation, l'intérêt ou le plaisir esthétique vis-à-vis d'un produit ou d'une interaction ?

En psychologie cognitive, les émotions sont considérées comme résultant des processus d'évaluation non rationnelle. Desmet propose PrEMO [DESMET, 2005], un outil de mesure, non verbal, individuel, permettant de mesurer l'impact émotionnel des produits.

Desmet a constaté qu'en mesurant différents types de réponses émotionnelles, il est possible de concevoir les produits qui visent certains types spécifiques d'émotions. En regard à la perception des produits, quatorze types d'émotions ont été identifiés, et sont présentées sur la figure 13.

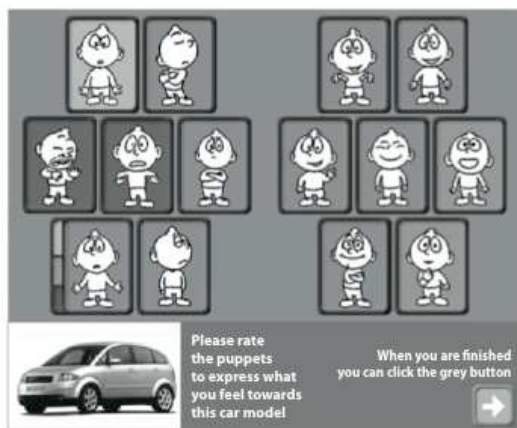


Figure 13. Interface de dialogue de l'outil PrEMO

L'outil PrEMO est utilisé dans différents secteurs de l'industrie automobile et des biens de consommation, il permet de mesurer l'expérience émotionnelle suscitée par un produit ou service. L'exemple montré en figure 13 traite de l'évaluation de la dimension émotionnelle d'un panel de véhicules automobiles. L'état émotionnel choisi par le client parmi les quatorze représentations permet d'identifier l'émotion déclenchée par la vue du produit sans recourir à des verbalisations et évaluations sémantiques. Ces nouvelles connaissances sont intégrées dans le processus de conception comme indiqué sur la figure 14.

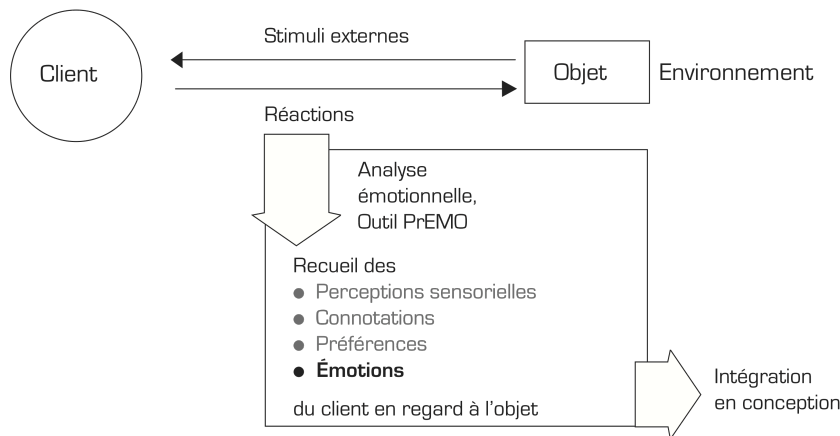


Figure 14. Intégration de l'outil PrEMO dans la conception centrée sur les valeurs émotionnelles

2.3.5 L'approche Marketing : Le marketing sensoriel

Dans son ouvrage « Marketing sensoriel : la polysensorialité des emballages », Lageat rappelle que tout produit est choisi sur des critères qualitatifs qui mettent en œuvre un processus de séduction du consommateur et qui sont sanctionnés par un acte d'achat ou de fidélisation à une marque [LAGEAT, MONTET et al., 2000]. Le consommateur adopte le produit ou le service qui attire son attention, qui réussit à le séduire. Il est rarement concerné par les facteurs d'ordre technologique, fonctionnel qui préoccupent essentiellement le fabricant ; il obéit à une autre logique de l'ordre du sensible, de la qualité perçue.

Le marketing sensoriel, aussi appelé marketing expérientiel en marketing de vente, est utilisé pour mettre en avant un produit en créant autour de lui une atmosphère multi-sensorielle qui augmente ses attraits. L'utilisation des cinq sens pour vendre un produit ou un service permettrait ainsi aux entreprises d'optimiser leurs ventes, en suscitant chez le client des émotions particulières. Le marketing sensoriel sollicite les cinq sens simultanément, ce que les professionnels du marketing appellent aujourd'hui couramment « polysensorialité » même si techniquement cela reste encore difficile à mettre en œuvre pour la plupart des produits.

2.3.6 La conception à l'écoute du marché

La Conception à l'Écoute du Marché, développée par Shoji Shiba dans les années 90 au Japon, est une méthode qui permet d'anticiper les besoins latents des clients pour proposer un produit ou un service en avance sur la concurrence. Elle organise l'écoute des clients, elle traduit la voix des clients en un ensemble d'attentes afin de concevoir

une réponse adaptée aux besoins des clients ; les nouveaux besoins des clients sont particulièrement pris en compte par cette approche [SHIBA, NOYÉ et al., 1996].

Shiba distingue deux types d'orientation de conception opposées l'une de l'autre: l'orientation produit (Market In) et l'orientation client (product-out). Selon l'auteur, réaliser un travail avec l'orientation produit consiste à bien travailler, selon les règles et les procédures, en respectant les spécifications, mais en reportant sur le client la responsabilité de sa non satisfaction éventuelle, en faisant la sourde oreille à ses insatisfactions. Au contraire, l'orientation client consiste à faire un travail en ayant pour but de satisfaire un client. Par client, on considère avant tout les clients externes, les personnes qui payent et/ou qui décident, les utilisateurs, les clients futurs, la collectivité et l'environnement dans son ensemble.

Cette approche insiste sur le fait qu'il ne suffit pas de bien faire les choses, il faut faire les choses qui sont bien pour le client. Cette vigilance permanente introduit une boucle de rétroaction pour améliorer ce qui est fait. Ainsi le schéma de la figure 15 illustre cette dualité entre les deux orientations, l'orientation produit et l'orientation client, avec la boucle d'amélioration permanente.

L'auteur distingue deux approches, l'approche traditionnelle du marketing qui consiste à considérer le marché de l'extérieur et à l'étudier avec des instruments de mesure à partir d'hypothèses, et l'approche par imprégnation qui consiste à plonger dans le milieu pour le comprendre de l'intérieur, décrit par Shiba comme « le plongeon dans le bocal avec les poissons ».

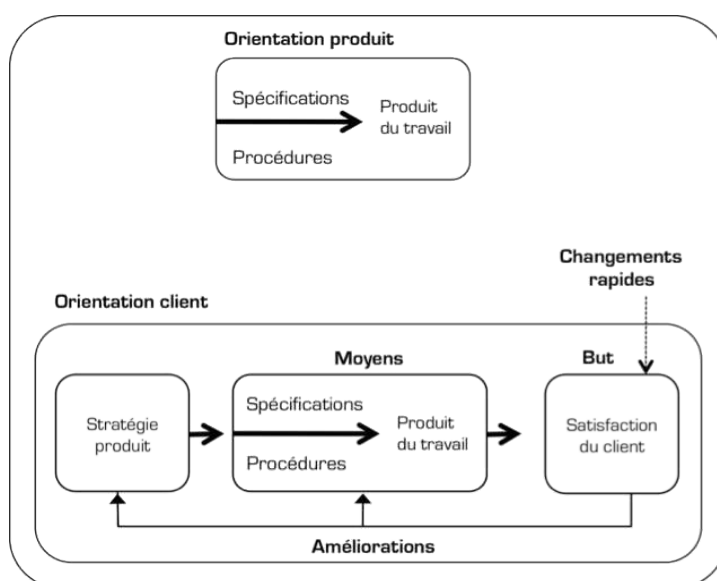


Figure 15. Conception orientée produit et conception orientée client

L'évolution de la satisfaction du client en fonction des fonctions que le produit présente est illustrée sur la figure 16. La courbe de satisfaction est proportionnelle à la conformité des besoins du client, d'autant plus élevée que le produit offert répond à son besoin exprimé (fonctions proportionnelles) ou implicite (fonctions obligatoires), et exponentiellement proportionnelle à la satisfaction des besoins non exprimés (fonctions attractives). Les besoins non exprimés ou latents correspondent à des attentes potentielles que le client n'exprime pas parce qu'il ne sait pas que son besoin existe et qu'une réponse existe, génèrent une satisfaction exponentiellement proportionnelle à la présence de la fonction qui apporte une réponse au besoin non exprimé.

L'innovation sous sa forme majeure apparaît dès lors que nous sommes dans le domaine des attentes non exprimées ou latentes. Les fonctions attractives répondant à ces attentes satisfont les utilisateurs et les séduisent. Ce rôle de séduction est important pour lancer un produit sur un marché concurrentiel.

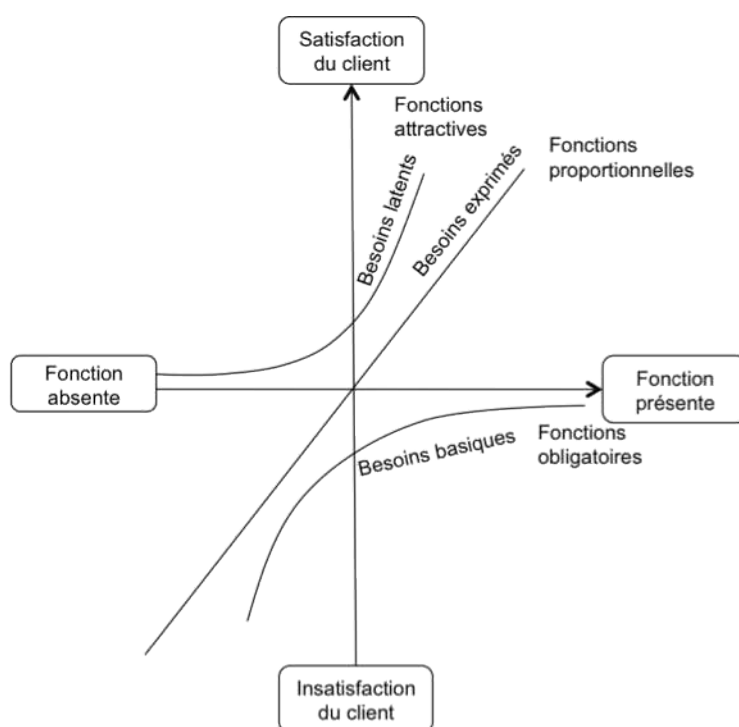


Figure 16. Evolution de la satisfaction client selon la nature des besoins et des fonctions

Dès lors que l'on s'attache aux attentes exprimées, et que le produit entraîne la satisfaction de la population cible, nous sommes dans le domaine de la différenciation par la performance. Celle-ci génère auprès des utilisateurs une sensation de différenciation. C'est lors de cette phase que l'avenir commercial du produit se joue.

La séduction et la différenciation par la performance sont des composantes complémentaires.

Dans cette section nous avons exposé un ensemble de méthodes d'aide à la prise en compte des besoins, exprimés et latents, en conception. La synthèse est présentée sur la figure 17. Ces méthodes portent sur l'évaluation de la satisfaction du client, utilisateur ou futur utilisateur, elles sont intégrables dans le processus de conception mais exigent du produit qu'il soit suffisamment développé ou représenté (dessin, maquette ou prototype) pour être mobilisées et permettre d'évaluer la satisfaction client à travers différentes modalités, sensorielles, sémantiques ou émotionnelles. D'autres approches, telles que l'ergonomie de conception, rencontrent ce même paradoxe de l'évaluation en conception et font alors appel à des approches et postures spécifiques. Nous les exposons dans la section suivante.

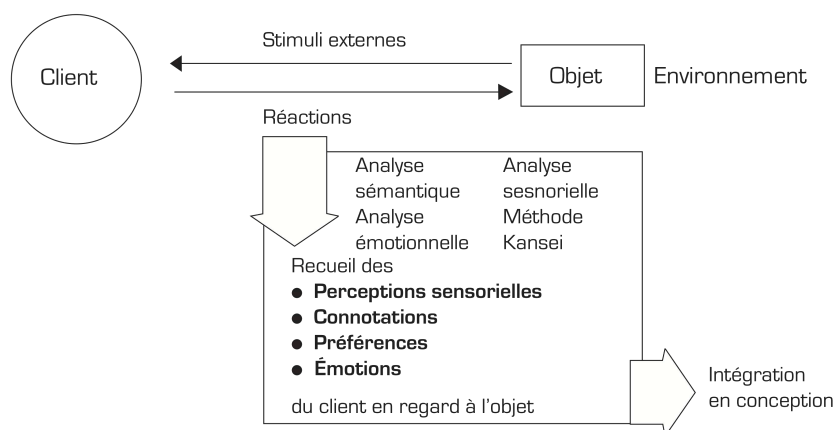


Figure 17. Intégration des méthodes d'évaluation dans la conception d'objets centrée sur la perception

2.3.7 L'approche ergonomique

2.3.7.1 L'ergonomie de l'usage

L'ergonomie s'intéresse à l'Homme en tant qu'utilisateur et non en tant qu'acheteur (qui peut être éventuellement la même personne) et utilise une méthodologie qui lui est propre : l'analyse de l'activité d'utilisateurs en situation réelle ou la plus réaliste possible, basée sur des observations d'utilisateurs, des entretiens et des auto-confrontations. L'ergonomie de conception n'a pas comme objectif la validation d'un produit fini en regard aux normes ergonomiques, mais l'adaptation des produits aux utilisateurs.

Le rapport de [MARSOT, 2002] concernant l'intégration de l'ergonomie dans le cycle de conception présente une analyse des principales approches industrielles de la conception de produit et, pour chacune d'elles, les moments et les types d'intervention pertinents des ergonomes. Après avoir étudié les différentes organisations d'activités, Marsot a identifié le processus en spirale comme étant le plus propice à l'intervention de l'ergonome. La figure 18 met en évidence la possible intervention de l'ergonome à chaque étape du processus de conception.

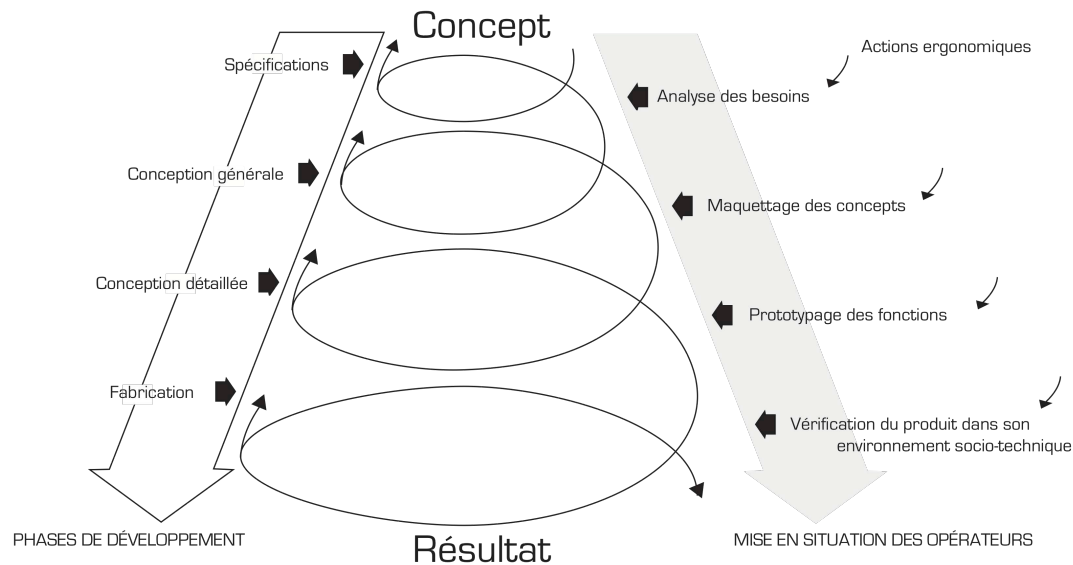


Figure 18. Intégration de l'ergonomie dans le processus en spirale de la conception

Néanmoins, le moment de l'intervention judicieuse de l'ergonome dans le projet de conception reste parfois assez complexe à définir, car, dans le cas de la conception de produits totalement nouveaux, l'utilisation n'est pas observable avant d'avoir construit le produit lui-même ou tout au moins sa maquette fonctionnelle, qui arrive parfois tard dans le processus de conception de produit, ce dernier est alors déjà figé en ce qui concerne de nombreux points de vue [SIMON, BASSEREAU et al., 2003].

De plus, la complexité croissante des produits conduit de plus en plus les concepteurs à reconnaître le rôle primordial du « facteur humain » dans tout projet de conception [CHITESCU, SAGOT et al., 2003]. La négligence d'une réflexion centrée utilisateur dans un projet d'innovation peut conduire à une non acceptabilité du concept et à un échec « marché ».

Aussi, de plus en plus d'entreprises mettent en place une activité d'innovation basée sur le développement des concepts d'usages plutôt que sur la formulation technique.

Falzon argumente que l'activité de l'ergonome s'apparente aux activités de conception, dans le sens où, comme pour l'activité de conception, le problème traité ne pré-existe pas réellement : il doit le construire graduellement. « L'ergonome fait face à des problèmes mal définis, dont il construit l'énoncé en même temps qu'il en développe la solution, et qui admettent des solutions multiples » [FALZON, 1998].

Selon [PEREZ and ROGALSKY, 2001], dans le domaine des interactions Homme-Systèmes, la question des rapports entre conception et utilisation de systèmes se pose essentiellement en termes de conception des interfaces. Le développement fulgurant des technologies de l'électronique et de l'informatique embarquée conduit à de profonds bouleversements de l'interface Homme- Machine et des idées dans les modèles de l'interaction.

Bationo Tillon donne un aperçu très intéressant de l'évolution des différentes définitions de l'IHM¹⁵ selon les courants de ces 30 dernières années. Les modèles classiques de l'IHM se basent sur une interaction de l'utilisateur avec un ordinateur, un clavier et une souris, et une interface de type WIMP (Windows, Icons, Menu et Pointing). Or ce matériel tend à disparaître aujourd'hui au profit de nouveaux types d'interfaces, tels que ceux que nous traitons dans cette thèse. Cette évolution générale se nomme « the Disappearing Computer », Streitz (2007) cité dans [BATIONO-TILLON, 2006].

Un autre concept intéressant et complémentaire est le « Palpable Computing », développé par Ishii du MIT media-lab. Cette approche explore la manière dont les objets physiques, couplés à des données informatiques, peuvent agir sur l'expérience de l'utilisateur. En effet, Ishii inventeur de la notion d'interfaces tangibles, dans son article « Tangible Bits » [ISHII and ULLMER, 1997], défend l'idée que la matérialisation des contenus numériques dans des objets manipulables permettra une expérience multisensorielle plus riche que l'information numérique pour l'utilisateur. Cette approche nouvelle de l'IHM sera reprise par Dourish dans l'ouvrage « Where the action is » où, dans une analyse du design d'interaction, il affirme que le couplage entre l'action de l'utilisateur et la fonction du produit crée du sens [DOURISH, 2001]. Overbeeke et al. compléteront l'analyse et donneront des clés pour la conception de « contextes pour l'expérience » enrichissant les possibilités d'action qui exploitent le

¹⁵ Interface Homme-Machine

répertoire humain des actions possibles, sur la base de combinaison des éléments de couplage entre les modalités d'action de l'utilisateur et les fonctions du produit. Le cadre théorique proposé invite à l'exploration des couplages, ainsi qu'à l'exploration de l'esthétique de ces couplages [OVERBEEKE and WENSVEEN, 2003].

La notion de genèse instrumentale¹⁶ proposée par Rabardel rend compte de l'idée que « la conception continue dans l'usage » [RABARDEL, 1995-2]. C'est précisément ce qui nous intéresse dans cette approche. La conception d'un dispositif innovant, incluant des phases itératives de saisie du dispositif en cours de conception par les utilisateurs, est une approche basée sur une exploration raisonnée des possibles, incluant une évaluation récurrente des propositions.

Cette approche de la conception, intégrant par boucles itératives une évaluation de la saisie par les utilisateurs potentiels en phase préliminaire de conception, nous amène à considérer précisément le phénomène de la saisie. Nous exposons dans les sections suivantes un état de l'art des types d'interfaces existants et les approches théoriques de la perception qui en soutiennent la conception, nous exposons la théorie de la perception active et les méthodes d'exploration des possibles basées sur cette théorie.

2.3.7.2 L'ergonomie des interfaces GUI et TUI

Depuis plusieurs décennies, le WIMP¹⁷ est le mode d'interaction dominant des interfaces Homme-machine: on parle de *Graphical User Interface (GUI)*. Les interfaces graphiques impliquent une distinction fondamentale entre les éléments traitant les entrées (*inputs*), comme la souris et le clavier qui servent de contrôles, et ceux traitant les sorties (*outputs*), généralement représentées visuellement sur des écrans, les interfaces se distinguent par leur intuitivité, elles représentent directement à l'écran ce à quoi ressemble le résultat (interfaces WYSIWYG¹⁸), ou font partager à un groupe d'utilisateurs la même représentation (interfaces WYSIWIS¹⁹). Le modèle de fonctionnement des GUI, présenté figure 19, est basé sur le découplage entre la

¹⁶ Il s'agit de donner l'initiative au sujet (utilisateur potentiel) qui peut attribuer une fonction à un artefact qui lui est proposé par l'équipe de conception, ou accommoder ses schèmes d'usage par ce même artefact. Cette instrumentation/instrumentalisation contribue à la genèse instrumentale, et permet de faire co-émerger un besoin et la satisfaction de ce besoin.

¹⁷ Windows, Icons, Menus, Pointing device

¹⁸ WYSIWYG (WHI-ZEE-WYG) What You See Is What You Get

¹⁹ WYSIWIS (WHI-ZEE-WIZ) What You See Is What I See

commande (périphérique d'entrée) et la représentation de sortie (information). Les GUI tirent profit des grandes possibilités graphiques liées à ce découplage.

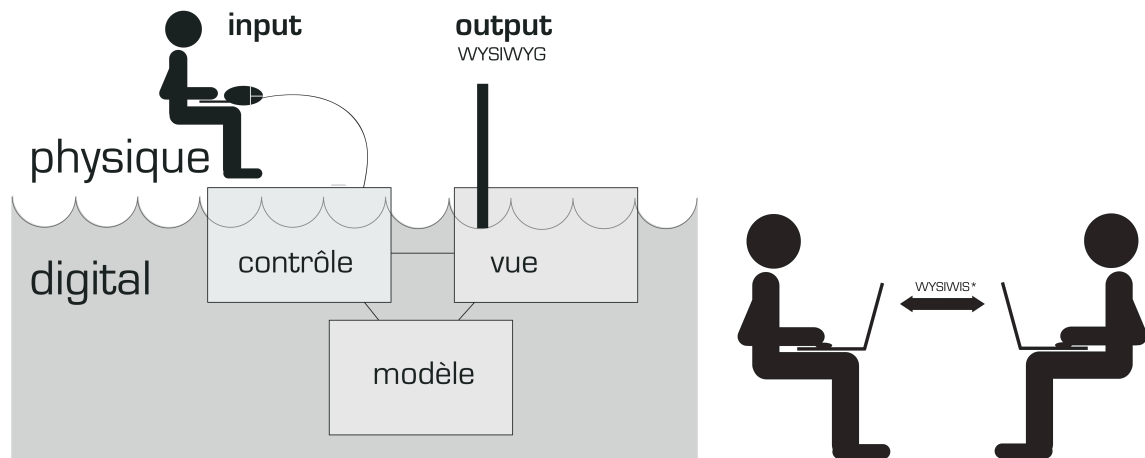


Figure 19. Schéma représentatif du fonctionnement des GUI (selon [ISHII, 2008])

Cependant, ce mode d'interaction ne tire pas profit de la capacité de l'Homme à agir dans le monde, à ses capacités perceptuo-motrices qui lui permettent d'agir et de constituer une expérience riche dans son environnement.

Dans le monde réel, le toucher et la manipulation physique jouent un rôle déterminant pour comprendre l'environnement et agir dans cet environnement [ISHII, 2008].

Depuis le milieu des années 90, les GUI laissent la place aux TUI, interfaces tangibles (Tangible User Interfaces) qui permettent de simuler un environnement physique ou le partage d'un environnement physique entre deux interlocuteurs distants via l'exploration d'un nouvel espace commun, et d'éliminer la distinction éléments d'entrée / éléments de sortie qu'opère le fonctionnement des GUI évoqué plus haut. Pour ce faire, les TUI donnent une forme physique à l'information numérique permettant ainsi de la toucher et de la manipuler : ces objets sont à la fois la représentation et le mode de contrôle de l'information numérique. Les TUI couplent ainsi les représentations physiques (des objets physiques manipulables spatialement) avec des représentations virtuelles (graphiques, audio par exemple).

La figure 20 illustre le couplage direct entre les actions d'une personne dans un modèle numérique via une interface tangible dans le monde physique, le couplage direct des actions et des fonctions lui permet de contrôler avec dextérité le monde numérique.

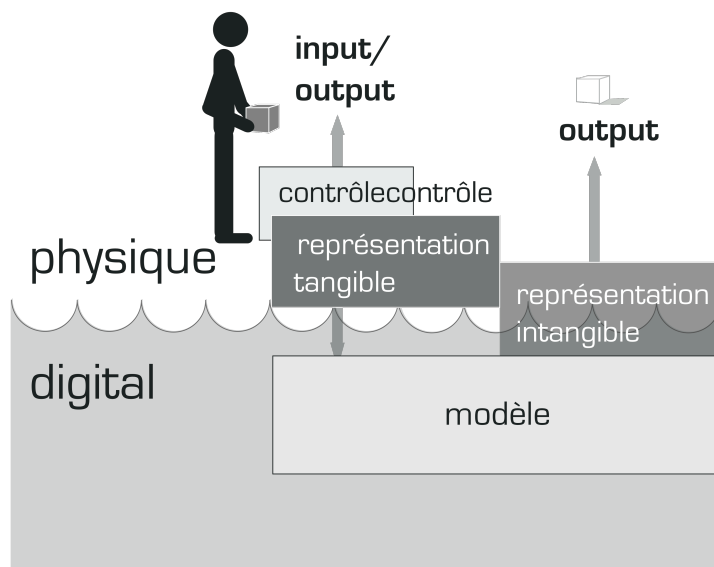


Figure 20. Schéma représentatif du fonctionnement des TUI (selon [ISHII, 2008])

Le premier dispositif utilisant un principe de TUI est le dispositif « Digital Desk » développé par Wellner [WELLNER, 1992]. Ce dispositif permet de travailler à la fois avec des documents papiers et des documents électroniques. Cette interface (figure 21) utilise un vidéo-projecteur pour projeter les documents sur un bureau, et une caméra pour capter l'activité de l'utilisateur sur la feuille de papier.

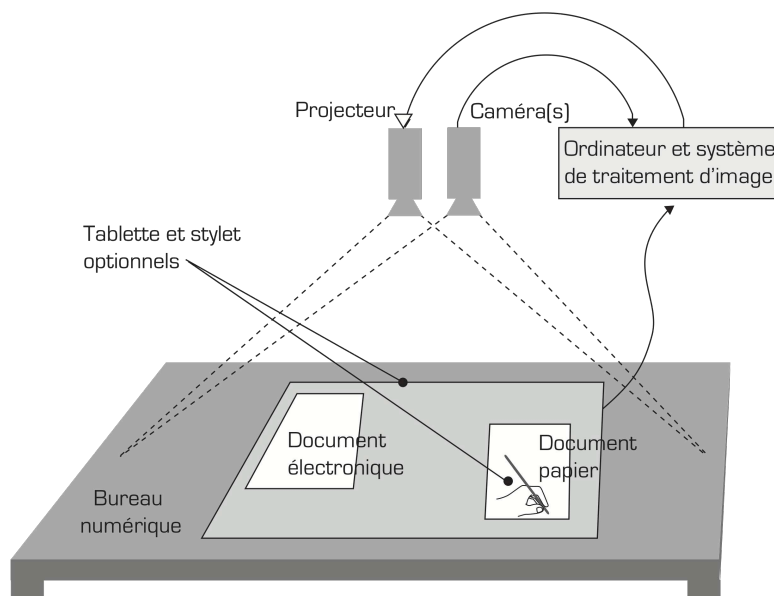


Figure 21. Schéma de principe du Digital Desk de Wellner [WELLNER, 1992]

Parmi les premières TUI développées, citons aussi l'URP (URban Planning simulation) destiné aux urbanistes pour réaliser des simulations en temps réel sur des modèles physiques [ISHII and Ben-JOSEPH, 2002]. On sait que les modèles physiques sont des outils très performants dans les premières phases d'explorations, pour les urbanistes

comme pour les designers. Cette interface, créée par le Tangible Media Group du MIT media laboratory dirigé par Hiroshi Ishii, est ainsi dotée de maquettes d'immeubles, d'objets (pions) interactifs, de projecteurs, d'un ordinateur, d'une caméra et de capteurs repérant la position des différents objets physiques. L'URP (figure 22) est le premier dispositif qui rend les informations numériques directement manipulables avec les mains, et perceptible via nos sens périphériques en les matérialisant physiquement.

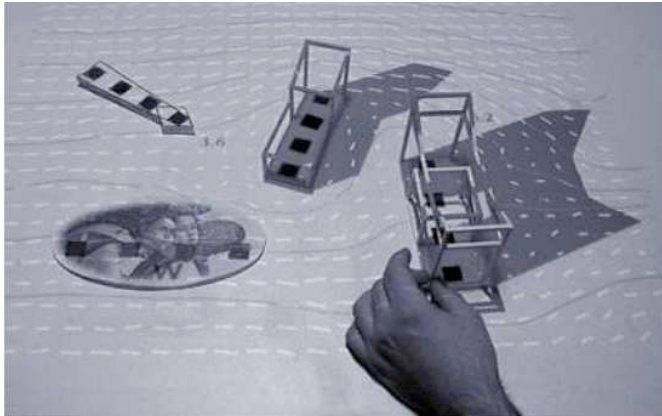


Figure 22. L'URP, interface tangible à destination des architectes.

Nous nous inscrivons dans ce courant de recherche sur les IHM qui défend l'idée qu'un système informatique doit être visible pour permettre à l'utilisateur de former un bon modèle conceptuel de son fonctionnement [NORMAN, 2004].

Nous avons compris que le challenge du monde numérique est la matérialité. Le rôle du corps dans la conception des nouveaux produits devient central. Aussi, avant d'aller plus loin et de présenter les approches de conception de ces dispositifs de couplage entre monde physique et monde numérique, nous devons mobiliser le cadre théorique des sciences humaines pour comprendre ce que signifient les notions de « perception » et « d'interaction ».

2.4 Théories de la perception

2.4.1 L'approche physiologique

Selon l'approche physiologique [DEPLEDT, 1998], le phénomène de la perception est déclenché par la stimulation des récepteurs connectés aux fibres nerveuses, elles-mêmes connectées au cerveau qui analyse l'information sensorielle, l'interprète et donne l'ordre d'agir (figure 23). En ce qui concerne la perception visuelle, selon cette

théorie, elle serait construite par le cerveau à partir d'une succession de stimuli lumineux, transformés en sensations par la rétine et en perceptions par le système nerveux central.

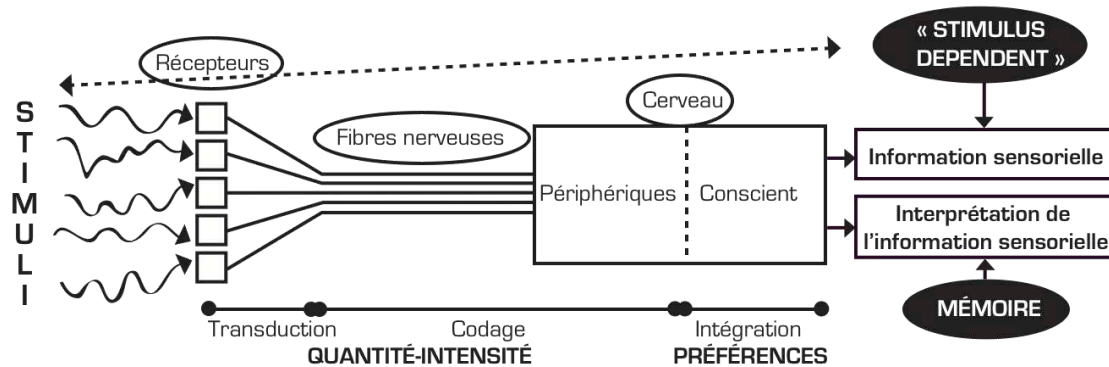


Figure 23. Etapes physiologiques de la perception [DEPLEDT, 1998]

De la même façon, la théorie mathématique de l'information de Shannon (figure 24) s'appuie sur la transmission d'un message, via un canal, construit puis codé par l'émetteur, puis reçu et décodé par le récepteur qui traite l'information et construit à son tour une image mentale. Ce modèle de l'information est intéressant pour comprendre l'importance de l'information comme grandeur observable et mesurable, transmissible d'un émetteur à un récepteur partageant un répertoire commun, mais présente certaines limites pour rendre compte de la réalité de la perception.

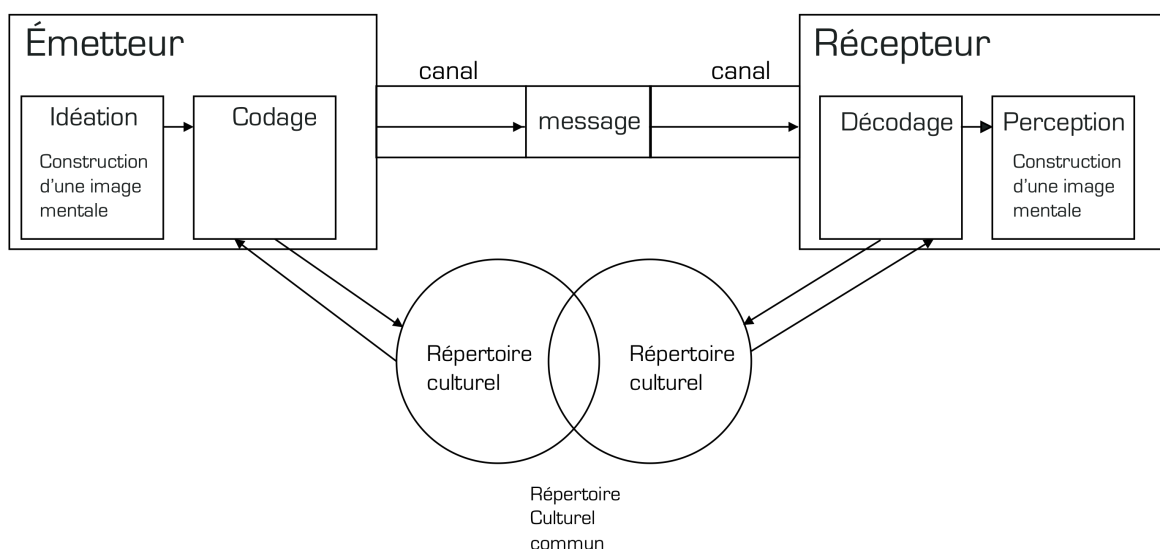


Figure 24. Modèle général de la communication de Shannon cité dans [QUARANTE, 2001]

Ces théories représentent de façon incomplète la perception. Theureau défend l'hypothèse que la théorie de la cognition (ou action) située peut rendre compte de la

réalité de la perception. Citant Foret, Buisset et Finot, Theureau évoque la notion d'information contenue dans l'environnement. Exposant une recherche portant sur la situation réelle du poste de conducteur d'une machine à fabriquer des cigarettes, il montre que « l'ouvrier ne s'attache pas à tous les indices qu'il perçoit, mais opère un choix et ne retient que les signaux qui lui paraissent utiles » [THEUREAU, 2004]. Theureau développe l'idée d'un système autonome constitué par le monde et le sujet. Nous en présentons ci-dessous les fondements.

2.4.2 L'approche psychologique

L'apport de la psychologie écologique : La perception directe

L'approche écologique développée en psychologie par James Gibson, dans *l'Approche écologique de la perception visuelle* [GIBSON, 1979], présente la perception visuelle comme étant la perception d'un environnement ou d'un « optic array » déjà structuré de façon complexe et s'adressant directement à nos comportements vitaux. Comme présenté sur la figure 25, ce que nous percevons n'est pas un milieu physique constitué ou construit par le sujet/cerveau, mais un environnement « directement perçu », décrit en référence aux actions possibles qui nous sont offertes (ou offertes à l'animal de façon plus générale) sans aucun intermédiaire mental. D'après Gibson, cité dans [ROM09], « ce n'est pas la lumière du physicien, dans sa double définition corpusculaire et/ou ondulatoire, qui est perçue par l'animal, mais la lumière réfléchie et réfractée par une infinité de surfaces et de milieux hétérogènes, c'est-à-dire structurée de manière hautement complexe, la « lumière ambiante ». L'information spécifiée par la lumière ambiante est bien plus riche que ne l'ont généralement supposé les théoriciens classiques de la perception, et c'est pourquoi cette information n'a pas à être « traitée » par le cerveau : la perception n'est pas une computation ; c'est une saisie directe des invariants de structure qui sont présents dans le champ optique » (de la personne ou de l'animal).

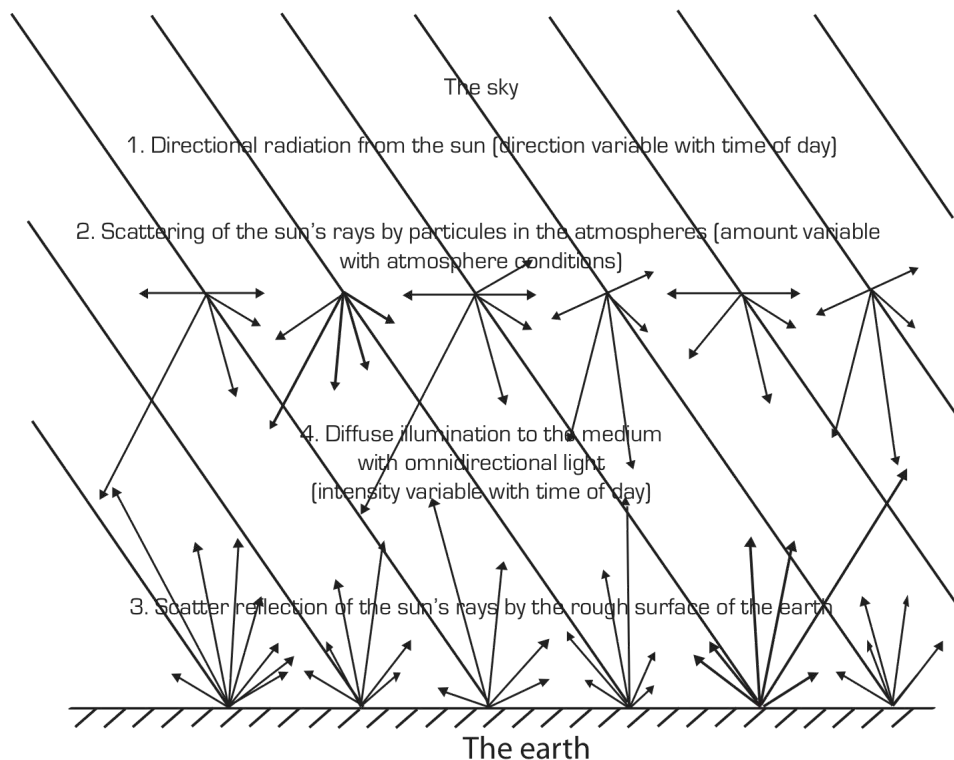


Figure 25. Modèle de la perception visuelle selon James Gibson [GIBSON, 1979]

Dans ce système, toute partie permet la reconstruction de l'ensemble, « percevoir une partie c'est en percevoir le tout ». La localisation du sujet qui perçoit, ainsi que son mouvement, sont les composantes centrales du système.

Elle se distingue des théories physiologiques de la perception en cela qu'elle considère l'objet réel de la perception comme la matérialisation d'un ensemble d'actions et d'interactions possibles, et non pas comme une représentation mentale construite par le cerveau sur la base des stimuli agissant sur la rétine.

La théorie de la perception visuelle initiée par Gibson et diffusée depuis dans différents champs de la conception, s'articule autour des deux concepts suivants :

1. Il existe un champ optique ambiant dans lequel l'ensemble des rayons lumineux convergent au point où se situe l'individu (ou l'animal).
2. L'environnement est « affordances ». Les « affordances », néologisme provenant de « *to afford* » (fournir, offrir la possibilité), sont les possibilités d'interaction entre l'individu et son environnement (par exemple, une chaise offre l'affordance de s'asseoir pour une personne, de dormir pour un chat, et aucune des deux (mais probablement d'autres), pour un éléphant).

Selon Gibson, il n'y a de perception qu'à travers l'action d'un sujet dans son environnement. D'après le modèle de la perception active (figure 26), une action « a »

effectuée par un sujet sur son environnement engendre un feedback sensoriel « s » telle que $s=g(a)$, et de façon concomitante, la sensation « s » oriente l'action de telle sorte que l'organisme, implémentant une stratégie pour générer ses actions et les moduler en fonction de ses sensations, découvre la loi de contingences, c'est à dire les liens entre action et sensation, et que le sujet comprenne ainsi comment les variations de ses mouvements déterminent les stimulations reçues. C'est de cette exploration active constante de l'environnement par des actions qui engendrent des sensations et des gradients de sensations que naît la perception.

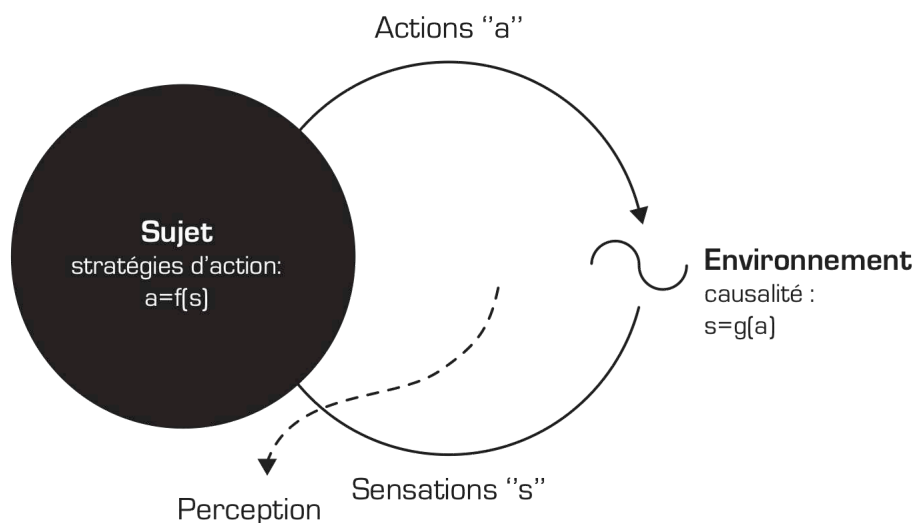


Figure 26. Modèle de la perception active

Le comportement est défini par l'interaction de la personne avec son environnement. La perception de l'environnement induit certaines actions qui s'offrent comme possibles. Gibson développe ainsi la notion d'affordances. Cette notion est reprise par certains chercheurs dans le champ de la conception et est mobilisée lors de la définition formelle des produits et des interfaces, nous la présentons ci-dessous.

2.4.3 Le concept d'affordance

Selon Gibson, les affordances existent en elles-mêmes, elles sont comprises dans l'environnement. Cette notion est introduite dans le champ du design par Donald Norman, psychologue de la perception qui s'intéresse à la conception d'objets. Il est aussi acquis pour Norman que l'affordance est comprise dans le monde et que par extension, l'objet, par son apparence, fournit les informations nécessaires à son usage. Mais il distingue les « affordances perçues » des « affordances réelles ». Les premières

peuvent être des conventions, des signes, manipulés par le designer, alors que les affordances réelles peuvent échapper à son action.

Norman propose d'aider à la maîtrise des affordances en suggérant de distinguer trois sortes de contraintes : physique, logique et culturelle [NORMAN, 1999] :

- la contrainte physique est l'affordance réelle (exemple du curseur de la souris qui ne peut pas sortir de l'écran),
- la contrainte logique est liée à la cohérence entre ce qui est vu/visible par l'utilisateur et comment le système fonctionne (information d'un clic possible sur cinq boutons alors que seuls quatre sont visibles, l'utilisateur comprend qu'il en manque un), la contrainte logique est liée au modèle conceptuel que l'utilisateur se fait du système et qui lui permet de l'utiliser,
- la contrainte culturelle est l'ensemble des conventions partagées par un groupe culturel, d'utilisateurs par exemple.

La contrainte physique - ou l'affordance réelle - est plus forte que les deux autres contraintes, car il est impossible de l'ignorer ou de la contourner. Les contraintes logiques et culturelles peuvent être transgressées ou ignorées, et sont en cela plus faibles. Néanmoins, quand elles sont mobilisées à bon escient par le designer, elles peuvent devenir une aide précieuse pour l'utilisateur.

Norman propose 4 caractéristiques spécifiques d'une interface bien conçue [NORMAN, 2004].

. Elle doit :

- être évidente, (elle doit permettre l'identification des actions qui sont possibles à tout moment, par l'utilisation des contraintes).
- faciliter la formation du modèle conceptuel la représentant,
- offrir un bon système de relation entre l'interface et les fonctions, (l'information doit être évidente pour l'interprétation de l'état du système)
- présenter un feedback (relation entre actions et l'effet résultant)

Overbeeke propose de redéfinir le concept d'affordances et de l'étendre non seulement aux capacités percepto-motrices de l'utilisateur et à l'environnement, mais aussi à son intention et à ses sentiments [OVERBEEKE and WENSVEEN, 2003], car selon l'auteur, le concept d'unité du sujet inclut ses intentions et n'importe laquelle des actions qui lui sont possibles, action d'imaginer incluse.

[GREENO, 1994] souligne l'origine sociale des représentations mentales. Les gens ne pensent pas et n'agissent pas seuls mais en tant qu'éléments de la communauté sociale et culturelle. Les concepts évoluent hors du discours des communautés des praticiens dans un certain domaine particulier. Par exemple, le concept de rayon de braquage d'une voiture a été construit en réponse à certaines conditions éprouvées par des conducteurs et des ingénieurs automobile. Il peut être employé très différemment par différents groupes de personnes. Ce peut être un concept implicite - affordance plus la capacité d'un conducteur expérimenté. Ou ce peut être un concept symbolique explicite - par exemple, pour l'instructeur qui doit l'expliquer aux étudiants, ou pour l'ingénieur qui le décrit avec la formule mathématique. Et si l'ingénieur conduit également une voiture, ce peut être un concept implicite et explicite en même temps.

Norman invite à considérer, dans son ouvrage « Emotional Design », le rôle de l'esthétique dans la conception de produits, en tant que résultante de l'ensemble des contraintes. Selon lui, un objet attractif rend l'utilisateur détendu, ce qui le rend plus disposé à constituer un modèle conceptuel du système et à être créatif dans la résolution d'un problème qui pourrait survenir, et donc l'amène à considérer le produit comme plus facile à utiliser [NORMAN, 2004]. Ces éléments peuvent aider les concepteurs à distinguer les affordances (réelles) des conventions ou signes (affordances perçues), toutes finalement perçues par l'utilisateur, mais avec un degré d'influence différent pour le concepteur selon qu'il peut concevoir un système ou un élément de système.

[RASMUSSEN and VICENTE, 1989] ont proposé à la fin des années 80 le modèle de conception d'*interfaces écologiques* s'appuyant aussi sur la Psychologie Écologique de James J. Gibson [GIBSON, 1986]. Ce modèle invite le concepteur à rendre perceptibles et donc compréhensibles par l'utilisateur les contraintes et les relations complexes de l'environnement dans lequel est utilisé le système.

La figure 27 illustre la taxonomie SRK²⁰ mettant en relation les 3 niveaux impliqués dans la perception: les habiletés, les niveaux de règles et les niveaux de connaissances (Skills, Rules, Knowledge) [RASMUSSEN and VICENTE, 1989]. Ce modèle permet au concepteur d'anticiper et de définir les comportements des utilisateurs basés sur *les habiletés* (comportement de niveau sensori-moteur, ne requérant que très peu ou aucun contrôle conscient pour exécuter une action routinière), *les signes* ou niveaux de

²⁰ Skills, Rules, Knowledge

règles (comportement basé sur l'utilisation de règles sans forcément connaître les principes qui les soutiennent) et *les signes ou les connaissances* (comportement basé sur un raisonnement, induisant une charge mentale plus importante pour l'utilisateur, sollicité lors de situations nouvelles ou impliquant de résoudre un problème). La distinction entre les comportements basés sur *les habiletés* et les comportements basés sur *les signes* ou niveaux de règles dépend de l'attention et du niveau de formation de chaque individu.

Concevoir un système qui sollicite les fonctions de type « sensori-motrices », a pour conséquence d'alléger la charge mentale de l'utilisateur et de lui permettre d'allouer plus de ressources cognitives à des processus cognitifs de haut niveau tels que la résolution de problème et la prise de décision.

Le concept d'interfaces écologiques proposé par Rasmussen et Vicente pour concevoir des systèmes de contrôle et commande propose un couplage direct entre la structure conceptuelle du système contrôlé et les caractéristiques cognitives des opérateurs humains, comme indiqué sur la figure 27 ci-dessous.

Niveau	Perception	Type de traitement	Caractéristiques du traitement	Sollicités lors de situations ...
S	Signaux	Perception-action	Rapide, sans effort, procède en parallèle	familières
R	Signes			
K	Symboles	Résolution de problèmes analytiques	Lent, laborieux, procède en série	nouvelles

Figure 27. Taxonomie SRK mettant en relation les niveaux impliqués dans la perception

2.5 Théorie de l'interaction

Le concept de perception active a conduit une partie des chercheurs en conception à considérer l'objet en tant que système de couplage entre l'individu et son environnement. Le modèle de l'objet en tant que système de couplage est développé par [LENAY, GAPENNE et al., 2007] tel que présenté sur la figure 28. Ce modèle permet d'illustrer l'interaction médiatisée humain-monde via un dispositif de couplage qu'il s'agit bien de concevoir. Nous considérons l'objet comme un système prothétique de perception, un dispositif qui modifie l'organisme en définissant le répertoire des actions et des sensations qui sont accessibles au sujet. Comme nous l'avons vu au §2.3,

dans l'univers de la conception de dispositifs informatiques, le couplage de l'utilisateur avec le monde informatique est très souvent médié par l'interface écran-clavier-souris [MILLE, 2009], mais se diversifie actuellement avec la prise en compte de différentes modalités, gestuelles 2D, gestuelles 3D, ou encore haptiques. Les domaines de possibilité originaux associés à chaque objet sont qualitativement et quantitativement différenciés. La manière dont le concepteur imagine les qualités d'un objet implique inévitablement des conséquences sur l'expérience qui va être rendue possible à l'utilisateur via l'usage de l'objet. Imaginer et spécifier les qualités de l'objet en fonction de l'expérience qu'il va rendre possible constituent l'enjeu du design, d'autant plus délicat que l'expérience en question est vierge de toute situation de référence.

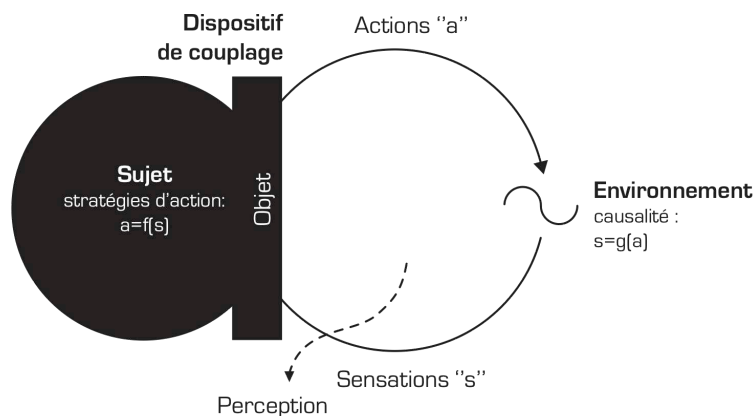


Figure 28. Modèle de l'interaction Sujet/environnement via l'objet (dispositif de couplage)

Il est intéressant de mentionner les travaux de Lenay, portant sur la distinction de deux modes d'existence de l'objet, l'état d'objet « saisi » et l'état d'objet « déposé ». Cette distinction permet de comprendre l'importance de considérer également en conception, ces deux modes, et permet aussi de constater l'importance des travaux qui ont porté respectivement sur l'un et l'autre des deux modes. Nous proposons une répartition figure 29. Nous pouvons observer que dans le champ de la conception, de nombreuses méthodes existantes sont orientées vers la maîtrise des attributs physiques liés aux perceptions de l'objet constitué dans l'environnement, (figure 29, partie supérieure du schéma), ces méthodes ont été présentées au § 2.3. Nous constatons un déficit de méthodes de conception orientées vers la maîtrise des attributs physiques de la perception de l'objet en tant que système de couplage humain/monde, (figure 29, partie inférieure du schéma). Les apports de l'ergonomie,

en tant que discipline et pratique s'intéressant à l'usage, sont détaillés dans la section suivante.

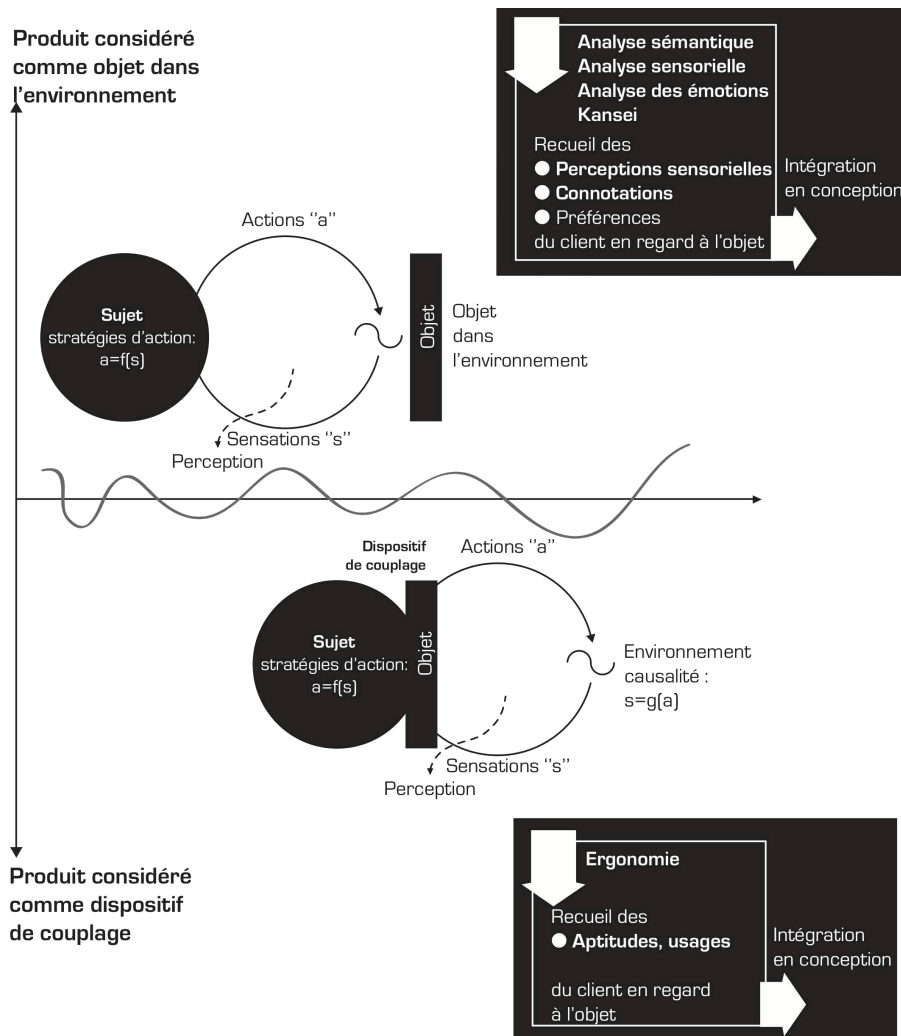


Figure 29. Synthèse de l'état de l'art des méthodes d'évaluation en conception selon l'état de l'objet.

Quand l'objet est « saisi » et utilisé, il devient une prolongation des capacités du sujet à explorer le monde. Il est alors intériorisé, devient un « organe », une partie du corps vécu, invisible à lui-même, et équivaut à une extension des capacités d'action, en disparaissant de la conscience de la personne, qui est alors concentrée sur ce qu'elle peut faire avec l'objet. Cependant, à la différence des organes, l'objet peut également exister en mode « déposé », objet de contemplation, il est alors possible d'en évaluer l'esthétique, de l'échanger ou d'en admirer l'efficacité.

Les atouts de l'ergonomie de conception

Gapenne & Boullier proposent une typologie permettant de définir et de distinguer quatre types de relations humain/technique qui pourraient inspirer le travail de conception [GAPENNE and BOULLIER, 2006].

- la substitution,
- la suppléance,
- l'assistance,
- l'aide.

Dès lors que la saisie et l'usage d'un instrument ouvrent un horizon d'actions et d'expériences inédites relativement à un environnement, le dispositif est considéré comme système de suppléance. Les auteurs précisent que l'activité d'une personne s'inscrivant dans une situation et un projet d'action donnés (conduire un véhicule pour se rendre dans un lieu, réaliser un mets pour satisfaire les appétits) mobilise généralement les différents types de relations ou couplages.

Le travail développé dans cette thèse porte précisément sur la conception de dispositifs de suppléance.

Dans le champ de l'ergonomie de conception, Rabardel défend ce point de vue de « l'instrument médiateur », instrument qui n'est pas un dispositif avec lequel on serait en interaction, mais un médiateur, une entité mixte tenant à la fois de l'artefact et du sujet lui-même [RABARDEL, 1995-2]. En effet, il distingue l'artefact et l'instrument. Si l'on considère l'artefact comme étant l'ensemble du dispositif technique, l'instrument ne peut être réduit à l'artefact. « Ce n'est pas la totalité de l'artefact qui constitue l'instrument d'un sujet, mais seulement une fraction de celui-ci qu'il a sélectionnée », sur laquelle il pense agir. La fraction de l'artefact considérée comme moyen d'action par le sujet ne constitue pas non plus la totalité de l'instrument. En réalité, l'instrument est une entité mixte qui comprend d'une part, l'artefact matériel ou symbolique et d'autre part, les schèmes d'utilisation, les représentations qui font partie des compétences de l'utilisateur et sont nécessaires à l'utilisation de l'artefact. C'est cette entité mixte, qui tient à la fois du sujet et de l'objet qui constitue l'instrument véritable pour l'utilisateur.

Un instrument est donc formé de deux composantes :

- d'une part, un artefact, matériel ou symbolique, produit par le sujet ou par d'autres ;
- d'autre part, un ou des schèmes d'utilisation associés, résultant d'une construction

propre du sujet, autonome ou résultant d'une appropriation de schèmes sociaux d'utilisation (SSU).

D'après [RABARDEL, 1995-2], l'appropriation de l'instrument par les utilisateurs résulte d'un processus progressif appelé « genèse instrumentale » (figure 30), dans lequel sont à considérer les relations directes Sujet-Objet (S-Od), les relations entre le sujet et l'instrument (S-I), les interactions entre l'instrument et l'objet (I-O) sur lequel il permet d'agir, et les interactions sujet-objet médiatisées par l'instrument (S-O m).

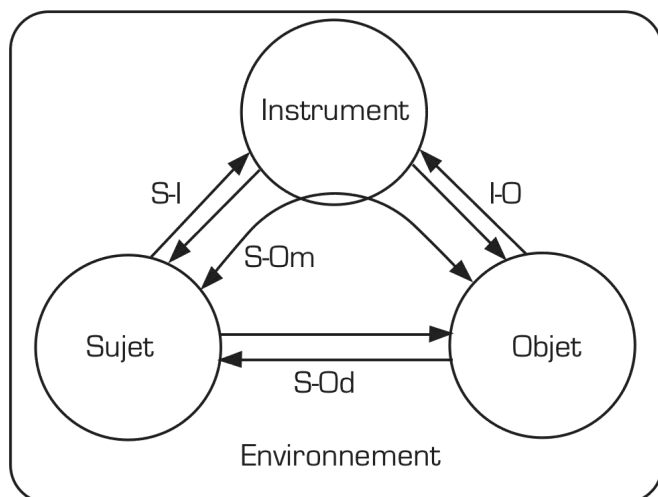


Figure 30. Modèle des Situations d'Activités avec Instrument [RABARDEL, 1995-2]

Les méthodes de l'ergonomie sont une aide considérable en ce qui concerne l'évaluation des systèmes en cours de conception, notamment la théorie de la genèse instrumentale de Rabardel, mais sont à articuler avec des méthodes d'exploration de l'espace des besoins pour être exploitées dès l'amont de la conception.

Cela étant, les outils à la disposition du concepteur sont par nature « prescriptifs », tout autant que l'ergonomie qui utilise le résultat de la conception comme objet d'évaluation. Or concevoir les usages d'un dispositif nouveau, sans pour autant pouvoir les évaluer avant que le produit n'existe, est un paradoxe²¹, que les outils de l'ergonomie ne peuvent à eux seuls lever. De la même façon que les outils de la conception ne peuvent eux non plus lever sans la contribution d'autres champs de compétences.

²¹ défini par Theureau comme « paradoxe de l'ergonomie » : « Pour dire quelque chose de réellement fondé sur une situation de travail, il faut attendre qu'elle soit complètement conçue, mais alors il sera trop tard pour intervenir dans la conception » [THE84] cité dans [MAR02]

Il s'agit de mobiliser, d'adapter voire d'inventer, une méthode qui permette de créer des objets nouveaux offrant des bénéfices nouveaux qui soient perçus comme tels, et qui répondent aux critères de qualité attendue en terme d'objet « déposé », et en terme d'objet « saisi ».

Les points de vue anthropocentrés et technocentrés ne sont pas opposés et sont bien sûr à articuler. Nous exposons dans la section suivante les méthodes de la littérature permettent d'explorer l'espace des concepts de produits/services nouveaux offrant des bénéfices nouveaux dans leur dimension « d'objet saisi ».

2.6 Une approche intégratrice : Le design thinking

Selon [LE MASSON, WEIL et al., 2006], l'innovation et l'exploration peuvent se gérer par projet avec des principes, des organisations et des instrumentations différentes de ceux des projets de développement.

« En situation d'exploration, il ne s'agit pas de réaliser le cahier des charges d'un projet innovant dont on sait au départ définir grossièrement les objectifs, mais d'organiser une exploration large de nouveaux espaces de concepts, de connaissances et de valeurs ou d'obtenir des « demi-produits » (terme proposé par B. Weil) « dont certains paramètres sont validés tandis que d'autres restent ouverts à l'exploration et à la variété ». Il ne s'agit pas de converger « vers » un objectif ou de réaliser « pour » un client, mais d'explorer pour des résultats intermédiaires et provisoires (nouvelles connaissances, nouveaux concepts), bifurquant, le cas échéant, vers de nouvelles explorations ».

« La conception anthropo-centrée s'appuie sur les compétences de l'utilisateur qui commande, contrôle la technologie et non l'inverse. Cette approche préserve en priorité sa santé, sa sécurité, son confort et l'efficacité de la relation homme-produit technologique »

Le Design Thinking, initié par le concept d'« Integrative Thinking » développé par Roger Martin et Hilary Austen à la fin des années 90 [MARTIN and AUSTEN, 1999], est une approche holistique qui répond à la problématique de l'innovation par les possibilités qu'elle offre de penser la complexité, de dépasser la dualité, de chercher des solutions originales intégrant les facteurs de complexité plutôt qu'en les ignorant, et de donner du sens.

L'integrative Thinking, comme le Design Thinking, est un art et non un processus, les choix sont guidés par une approche heuristique, et par l'intégration des connaissances. Le design Thinking s'est imposé comme une méthode d'innovation sur laquelle nombre d'entreprises innovantes ont fondé leur stratégie commerciale, et par laquelle elles ont développé une voie innovante pour se mettre à l'écoute de leurs clients. Elles pratiquent le design Thinking pour créer de la valeur. Selon la D-school de l'université de Stanford, qui l'enseigne, le Design Thinking est un processus d'innovation multidisciplinaire centré sur l'humain et basé sur la réalisation de prototypes, au plus tôt dans la création. Le modèle du design thinking s'articule en 3 phases : une phase d'inspiration, une phase d'idéation et une phase d'implémentation. À chaque phase, les principes ci-dessous sont mobilisés et permettent de corréler les phases entre elles [BROWN, 2008]:

1. Développer la connaissance des attentes profondes des consommateurs. Comprendre ce qui est significatif pour les consommateurs et utilisateurs, découvrir ce qui fait sens pour eux et ce dont ils ont besoin,
2. Apprendre en « faisant » (manière d'apprendre propre au design), réduire le risque lié au manque de connaissances initiales par le recours au prototypage rapide, par un processus itératif d'essai des prototypes et de confrontation avec les utilisateurs,
3. Innover, explorer les espaces inconnus,
4. Autoriser tous les acteurs à être novateurs, ouvrir le potentiel créatif de chaque acteur.

2.6.1 Le design industriel et les méthodes d'exploration des espaces des besoins

Le rôle des objets n'est pas seulement un moyen de satisfaire ses besoins mais plutôt de se différencier, nous rappelle Baudrillard [BAUDRILLARD, 1974]. Dans son acception française, le design est parfois confondu avec le stylisme d'objet ou l'esthétique industrielle appliquée à la recherche de formes, notamment lorsqu'il s'agit d'embellir un objet pour séduire des consommateurs, cette définition est partielle, et nous considérerons dans cette thèse la définition du design industriel dans son acception anglo-saxonne, proposée comme référence internationale par l'organisation « International Council of Societies of Industrial Design (ICSID) depuis 1964 : « le design est une activité créatrice visant à définir les propriétés formelles des objets

produits industriellement, sachant que par propriétés formelles, ne sont pas seulement comprises les qualités extérieures mais surtout les relations structurelles et fonctionnelles qui font de l'objet une unité cohérente tant du point de vue de l'utilisateur final que du fabriquant, le design industriel embrasse tous les aspects de l'environnement humain conditionné par la production industrielle » [MALDONADO, 1964]. Une nouvelle définition incluant les biens et les services et considérant les attributs formels des objets comme faisant partie d'un ensemble de qualités multiples est proposée depuis 2002 : « Le design est une activité créatrice dont le but est de définir les qualités multiples des objets, des procédés, des services et des systèmes dans lesquels ils sont intégrés au cours de leur cycle de vie. C'est pourquoi le design constitue le principal facteur d'humanisation innovante des technologies et un moteur essentiel dans les échanges économiques et culturels » [ICSID, 2002]. Considérant que le designer a cette faculté d'intégration de l'ensemble des dimensions à la fois techniques (monde interne à l'objet) et liées à l'individu (monde externe), il est de sa responsabilité de faire dialoguer ces deux mondes et d'interroger par la pratique de la conception le registre des attentes et de l'expérience rendue possible par ses choix de conception. Nous proposons d'illustrer (figure 31) le rôle du design en tant qu'articulant les sciences de la conception - permettant de spécifier le fonctionnement interne d'un produit - et les Sciences Humaines- permettant d'approcher et de comprendre les besoins et interactions de l'Homme dans le monde [GUENAND, SALZMANN et al., 2008-1].

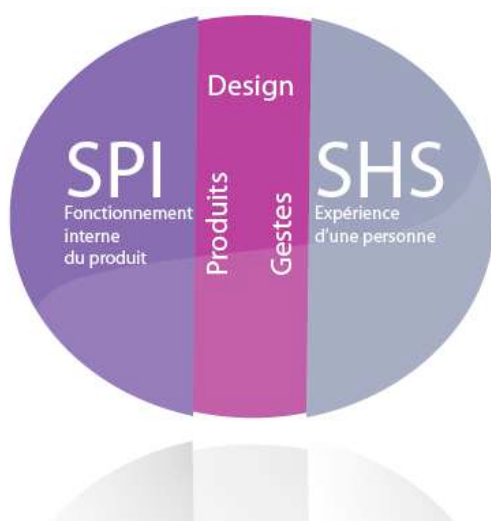


Figure 31. Modèle de l'activité de design en tant qu'articulation de deux logiques

Nous avons exposé dans le premier chapitre les trois cas de négociation fond-forme rencontrés en design industriel, et nous avons précisé le cas de transduction fond-forme propre à la conception innovante de produits électroniques à contenus numériques (cas n°3) qui est concerné par cette thèse.

Il s'agit à présent de présenter les différentes approches de design qui permettent de faire co-émerger les besoins utilisateurs et les solutions matérielles qui les satisferont. Les sections suivantes présentent les méthodes centrées sur l'interaction, nous détaillons les approches qui concernent directement cette thèse.

2.6.2 Le design orienté expérience

En France, [BUISINE, BESACIER et al., 2007], [DARSES, DÉTIENNE et al., 2001], [SAGOT, MAHDJOUBN et al., 2005], [RABARDEL, 1995-1], [RABARDEL, 1995-2] travaillent sur la conception de dispositifs complexes innovants en mobilisant l'approche ergonomique, en s'intéressant à la performance des tâches associées à l'utilisateur aussi bien qu'aux systèmes techniques.

Le laboratoire de design « ID Studio Lab » de l'Université de Technologie de Delft aux Pays-Bas développe des outils de design de produits orientés usage et expérience utilisateurs. L'équipe travaille dans un contexte pluridisciplinaire grâce auquel designers produits, designers d'interfaces, spécialistes en psychologie, physiciens, spécialistes du domaine de l'ergonomie, des facteurs humains et de l'interaction homme/machine travaillent ensemble en recherche et conception intégrée. L'originalité des travaux de [DJAJADININGRAT, OVERBEEKE et al., 2000-1] porte sur l'évolution de la considération de l'interaction du point de vue cognitif et des capacités psychomotrices vers l'interaction en tant qu'expérience complète, incluant les capacités émotionnelles de l'utilisateur. Il a notamment abordé la question des besoins utilisateurs en terme d'impressions nécessaires pour effectuer une tâche.

2.6.2.1 L'« interaction relabelling »

Les designers ont besoin de méthodes pour accéder à l'univers expérientiel de l'utilisateur. *L'interaction relabelling*, développée par Djajadiningrat, Gaver et Frens, vise à explorer l'esthétique de l'interaction en mobilisant un choix d'objet existants, riches en termes d'actions possibles, auxquels le concepteur et/ou l'utilisateur potentiel affectent de nouvelles fonctions sur les modalités d'actions existantes

[DJAJADININGRAT, 2000-2]. L'exemple de l'agenda électronique proposé par Frens et présenté sur la figure 32 montre le potentiel d'exploration de cette approche en design d'interaction. C'est la richesse des gestuelles résultantes et non la métaphore qui est importante.

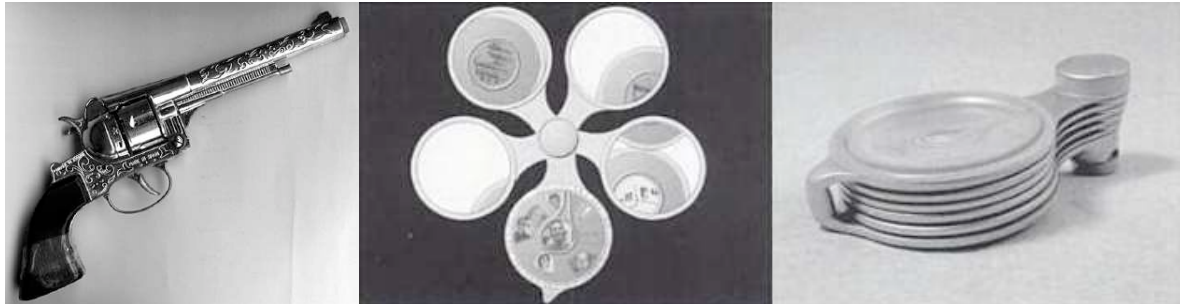


Figure 32. Révolver-jouet et Agenda électronique issu de l'interaction relabelling [DJAJADININGRAT, 2000-2]

2.6.2.2 Le design Frogger

Les travaux de l'Université de Technologie d'Eindhoven sont parmi les plus avancés dans le domaine du design d'interaction. Overbeeke et al. apportent des éléments qui contribuent à une théorie de l'interaction en conception de produits [OVERBEEKE and WENSVEEN, 2003]. Dans son travail de thèse, Wensveen présente l'« *Interaction Frogger* », un cadre permettant de distinguer les différentes possibilités de couplage entre l'action de l'utilisateur et l'information délivrée par le dispositif, et détaille les six aspects du couplage direct, et sur lesquels le designer peut agir, présentés sur la figure 33 [WENSVEEN, DJAJADININGRAT et al., 2004]. Ces travaux apportent des notions indispensables en conception de dispositifs d'interaction.

Emplacement	<ul style="list-style-type: none"> quels éléments sont donnés à voir ? à quels emplacements, sous quelle disposition ?
Temps	<ul style="list-style-type: none"> le temps d'action est-il un élément significatif ? quelle est la prise en compte du temps d'action par le dispositif ?
Direction	<ul style="list-style-type: none"> dans quelle(s) direction(s) les éléments peuvent-ils être déplacés ?
Dynamique	<ul style="list-style-type: none"> qu'est ce qui est pris en compte par le système ? Force de l'action : constante, accélération ? variation de force, pressions, vibration, contact, chaleur, etc
Modalité d'action	<ul style="list-style-type: none"> quels principes inventifs, quels éléments soutiennent l'action ? quelle organisation de la matière, quelle organisation des éléments, quelle quantité d'éléments ?
Expression	<ul style="list-style-type: none"> quelle liberté d'interaction est générée ?

Figure 33. Les 6 dimensions sur lesquelles le designer peut agir

En effet, quand l'action et la fonction sont unifiées sur chacun de ces aspects (emplacement, temps, direction, dynamique, modalité d'action et expression), elles sont « naturellement couplées », par exemple les dispositifs mécaniques pour lesquels une action de l'utilisateur est naturellement couplée à une fonction du dispositif [WENSVEEN, DJAJADININGRAT et al., 2004]. Mais à l'inverse, quand les dispositifs sont des systèmes informatiques ou électroniques, il apparaît de fait un découplage entre les actions et les fonctions. Ce découplage peut offrir certains avantages comme le contrôle à distance ou la programmation, mais a pour conséquence une non-intuitivité de l'interaction. Pour pallier ce problème, et véritablement proposer des systèmes de couplage qui font sens pour l'utilisateur tout autant qu'ils lui permettent une liberté d'expression, *l'interaction Frogger* (présenté en figure 34) peut être utilisé afin d'identifier ces différentes possibilités de couplage et construire un système de couplage pertinent. Pour comprendre ce schéma, il est nécessaire de préciser les trois types d'information que le dispositif délivre à l'utilisateur, avant, pendant et après l'action :

- L'information « fonctionnelle » porte sur la réalisation de l'action, elle est déclenchée par l'action physique de l'utilisateur (par exemple appuyer sur le bouton de mise en marche de la télévision déclenche l'apparition de l'image et du son),
- L'information « augmentée » porte sur une information complémentaire qui est ajoutée au dispositif pour apporter l'information instantanée mais qui ne contrôle pas directement la fonction (par exemple le voyant lumineux indiquant la veille, le déclenchement ou l'arrêt d'un dispositif),
- L'information « inhérente » porte sur la capacité percepto-motrice de l'utilisateur, il s'agit de la perception naturelle de l'action réalisée par son corps.

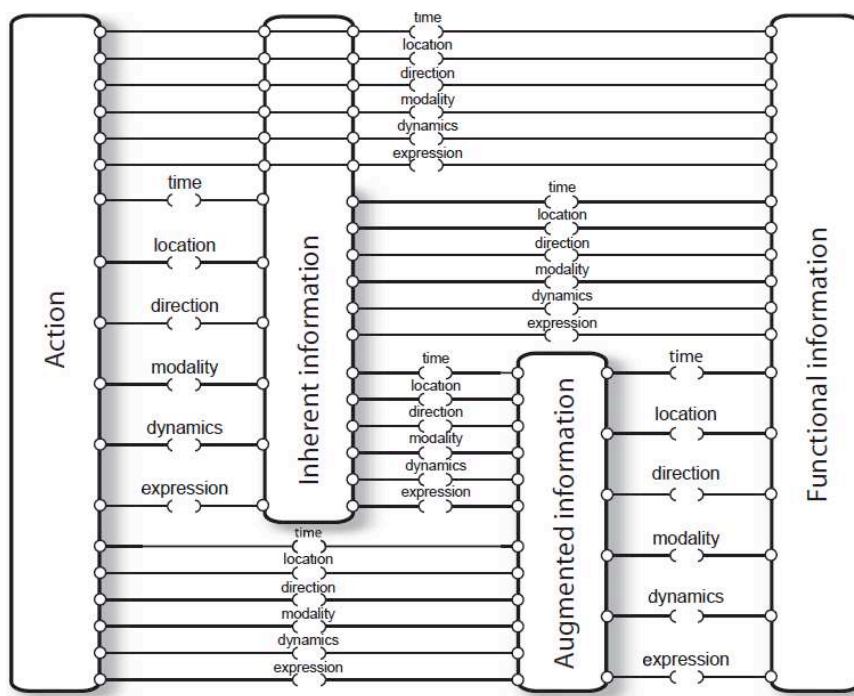


Figure 34. Interaction Frogger: possibilités de couplage entre action et information de l'objet [WENSVEEN, DJAJADININGRAT et al., 2004]

Wensveen analyse différents dispositifs d'interaction et constate que l'information provenant de l'action sur un périphérique d'entrée physique comme une souris par exemple (cas des GUI), est seulement couplée à l'information augmentée de l'interface graphique utilisateur (GUI) sur les aspects « temps » (de l'action) et « direction » (du mouvement de souris). Souvent, l'information provenant des GUI est indépendante de l'information fonctionnelle. A l'inverse, les interfaces utilisateurs naturelles gestuelles exploitent les habiletés motrices cognitives et perceptuelles d'une personne, mais, bien que riches en possibilités d'action, manquent d'information inhérente et se réduisent à un couplage direct entre l'action et la fonction ou à un couplage basé sur l'information augmentée.

Selon [DOURISH, 2001], « c'est parce que l'espèce humaine a lentement (mais sûrement) développé des qualités d'interaction physique avec les objets dans sa relation au monde, que les concepteurs pourront faciliter la conception des interfaces en construisant les interfaces qui exploitent ces qualités ». Overbeeke propose d'intégrer les capacités percepto-motrices et les capacités émotionnelles dans le modèle de l'interaction Homme-Produit, et évoque 3 conseils pour designer les interactions [OVERBEEKE, DJAJADININGRAT et al., 2004] :

- “don't think affordances, think temptation

- don't think beauty in appearance, think beauty in interaction
- don't think ease of use, think enjoyment of the experience"

Les recommandations de Dourish complétées de celles d'Overbeeke et al. enjoignent d'orienter la conception des dispositifs vers la conception d'expériences rendues possibles par ces dispositifs, en prenant en compte les capacités perceptuo-motrices et émotionnelles des personnes à qui l'on destine l'objet conçu.

Selon [GAVER, BOUCHER et al., 2004], concevoir pour satisfaire le plaisir d'usage nécessite une approche différente de la conception de l'usage à proprement parler. Alors que cette dernière peut être menée en étant extérieur à la situation d'usage, évaluant les difficultés et cherchant des solutions, la conception orientée plaisir est plus facile et offre de meilleurs résultats lorsque le concepteur est immergé dans la situation avec les utilisateurs. Deux méthodes illustrant cette posture sont présentées dans la section suivante.

2.6.2.3 Les Cultural Probes

La méthode des Cultural Probes a été développée par William W. Gaver à la fin des années 90 et adoptée depuis par de nombreuses entreprises et groupes de chercheurs en conception. Partant du constat que les entreprises ont accès aux mêmes technologies ou à des technologies équivalentes en même temps, l'auteur avance que ce n'est donc pas la voie technologique qui leur permet de se différencier auprès des utilisateurs potentiels de leurs produits. Ce qui fait la différence, c'est l'expérience qu'ont les utilisateurs lorsqu'ils utilisent les produits.

Or les méthodologies classiques de créativité (Brainstorming, Focus-groups) se déroulent généralement en laboratoire et ne permettent pas d'avoir accès à cette expérience de l'utilisateur en situation d'usage.

Les « design probes » constituent un outil d'aide à la compréhension des phénomènes humains et d'exploration des opportunités de design en se rapprochant au mieux de l'expérience de l'utilisateur [GAVER, DUNNE et al., 1999], [GAVER, BOUCHER et al., 2004], [MATTELMAKI and LUCERO, 2007].

2.6.3 Le Design Inclusif selon Jordan

Patrick Jordan [JORDAN and GREEN, 1999] propose une définition du concept de « design inclusif » et apporte les clefs suivantes afin de concevoir des produits et des

services que les « personnes aiment ». S'agissant des facteurs influant sur les ventes d'un produit, Jordan place le plaisir au plus haut niveau, devant la fonctionnalité et la facilité d'usage et affirme que l'on peut atteindre des marchés de niche avec seulement ce facteur en activité. Ci-dessous les 4 types de bénéfices ou « plaisirs » les produits peuvent apporter auprès des utilisateurs [JORDAN, 2000] :

- le Physio-plaisir est lié au corps et aux 5 sens,
- le Socio-plaisir est lié aux relations interpersonnelles et sociales,
- le Psycho-plaisir est lié à l'esprit,
- l'Ideo-plaisir est lié aux valeurs individuelles.

Selon Jordan, pour qu'un produit ou un service soit vraiment attrayant, il faut qu'il corresponde aux attentes des personnes à qui il est destiné, et ce, à trois niveaux :

1. Le bénéfice pratique

Le produit ou le service doit pouvoir effectuer la tâche pour laquelle il a été conçu. Par exemple, une voiture doit pouvoir nous transporter du point A au point B, un téléviseur doit être capable de recevoir des émissions et un téléphone doit permettre d'effectuer des appels. En d'autres termes, le produit en question doit bien fonctionner et son utilisation doit être conviviale.

2. Le bénéfice émotionnel

Il faut tenir compte des sensations que suscitera chez l'utilisateur ce produit. Celles-ci doivent être en harmonie avec la tâche à accomplir. Par exemple, si une personne a recours à un système bancaire électronique, elle s'attend à pouvoir effectuer ses transactions en toute confiance et sécurité. Si elle utilise une chaîne stéréo, elle souhaite en retirer un sentiment de plaisir et de satisfaction. Et si elle conduit une voiture de sport, elle souhaite ressentir des sensations fortes liées à un sentiment de sécurité.

3. Le bénéfice hédonique

Il faut considérer le produit dans la perspective des aspirations de l'utilisateur. Que révèle sur sa personnalité le fait qu'une personne soit propriétaire de tel ou tel produit ou utilisatrice de tel ou tel service ? Si elle possède un téléphone mobile compact dernier cri, elle est sans doute quelqu'un de très « branché ». Si elle possède une chaîne stéréo de marque Bang et Olufsen, elle fait preuve d'un goût hautement raffiné. Enfin, si elle fait ses provisions sur Internet, elle est certainement avant-gardiste et très futée. Les choix de consommateur révèlent quelque chose sur les personnes, aux autres et à

elles-mêmes. Il est donc important que le client ait l'impression que ses choix expriment véritablement son style de vie. Le produit est censé éveiller chez son propriétaire ou son utilisateur un sentiment de satisfaction de lui-même et non une impression de honte ou de dégoût.

Nous venons de parcourir dans la section 2.6 un ensemble de méthodes de la littérature permettant d'appréhender l'importance de la conception de produits via la conception d'expériences rendues possibles par le produit ; la nuance entre conception de produit et conception d'expérience est subtile mais essentielle pour prendre la mesure de l'importance de créer ce contexte pour l'expérience, et non pas seulement de l'évaluer une fois que le produit existe. Une limite persiste cependant, car on ne sait pas garantir que les performances du produit conçu ne seront pas altérées par la variabilité des paramètres subjectifs des utilisateurs finaux. Nous proposons de mobiliser l'approche de la robustesse.

2.7 Conclusion de la problématique de recherche

Dans le chapitre 2, nous avons parcouru la bibliographie des méthodes de conception, nous avons détaillé les méthodes d'intégration de la part subjective du besoin en conception et avons constaté le manque de moyen et d'outils pour explorer l'espace des besoins et des concepts produits. Ce problème de manque de moyens est d'autant plus important que l'on se trouve dans le cas des produits électroniques à contenus numériques, pour lesquels la question du corps, la question de la perception et de l'interaction sont des enjeux majeurs permettant d'innover et de différencier l'offre produit par rapport à la concurrence.

Nous avons donc abordé la question de l'interaction sous deux angles théoriques et avons retenu le cadre de la perception active comme étant celui qui nous permet de comprendre la perception et la relation humain-monde médiatisée par le produit, et d'envisager au delà de la simple conception de produits, la « conception de l'interaction ».

Nous avons montré dans la dernière section les différentes approches d'exploration de l'espace des besoins et de l'espace des interactions, et retenu les approches créatives des besoins, par ailleurs nous avons constaté le manque de robustesse de ces méthodes, dans le sens où aucune d'entre elles ne permet de garantir les performances

des produits malgré la forte variabilité à laquelle ils seront soumis, tant l'on les destine à des populations éminemment versatiles et exigeantes.

Dans ce contexte, nous proposons de (re)penser l'approche de la conception des produits-interfaces de sorte à améliorer l'accès aux contenus et aux fonctionnalités des appareils électroniques à contenus numériques, de sorte à garantir dès l'amont de la conception les performances du produit.

Pour cela nous nous appuyons sur les principes théoriques de la robustesse développés par Taguchi. Nous détaillons notre approche dans le chapitre 3, qui suit.

3. Chapitre 3

Cadre théorique de notre proposition

« La conception est bien le lieu de rencontre entre ce qui est désiré et ce qui est possible » résume [YANNOU, 2001]. La connaissance des besoins utilisateurs constitue un support préalable et indispensable à tout processus de conception. Or dans la réalité, durant les premières phase de la conception préliminaire, les caractéristiques du produit sont incomplètement définies. Aussi, leurs modalités d'identification constituent l'un des challenges auxquels est confrontée l'ingénierie. En effet, c'est en grande partie de ces connaissances initiales que dépendent l'efficacité et la robustesse du produit ou du processus. Or, le constat est souvent fait que ces besoins sont davantage projetés ou « imaginés », qu'issus d'un réel processus d'analyse accordant une place centrale aux véritables destinataires du résultat de la conception que sont les utilisateurs finaux [CHERFI, 2009].

De fait, naît un risque potentiel de voir apparaître un écart souvent conséquent entre le produit pensé (par d'autres) et le besoin réel de l'utilisateur. *La réduction de cet écart constitue donc un enjeu majeur de la conception robuste.*

3.1 Approche de la robustesse en conception

La prise en compte des variations des éléments de l'objet à concevoir a toujours été une préoccupation des concepteurs, l'objectif est aujourd'hui d'intégrer ces variations le plus tôt possible dans le processus de conception, de sorte à identifier les problèmes relatifs aux variations et minimiser leurs effets sur les performances du système [CARO, 2004]. L'ignorance de ces variations peut se traduire par des conceptions non robustes, onéreuses et défaillantes.

Selon l'acception courante, une conception est dite « robuste » lorsqu'elle optimise en même temps les performances du produit et minimise la sensibilité aux perturbations ; un produit est donc robuste si sa réponse est peu modifiée par des perturbations (paramètres extérieurs non maîtrisés, appelés paramètres de conception environnementaux). Un produit optimisé mais qui ne fonctionne que dans des conditions particulières n'est pas robuste [SAVARY, 2006]. La figure 35, d'après Savary, présente le principe d'un système dont la performance est fonction de paramètres de conception que l'on cherche à déterminer et à optimiser, de contraintes et de paramètres environnementaux non maîtrisés.

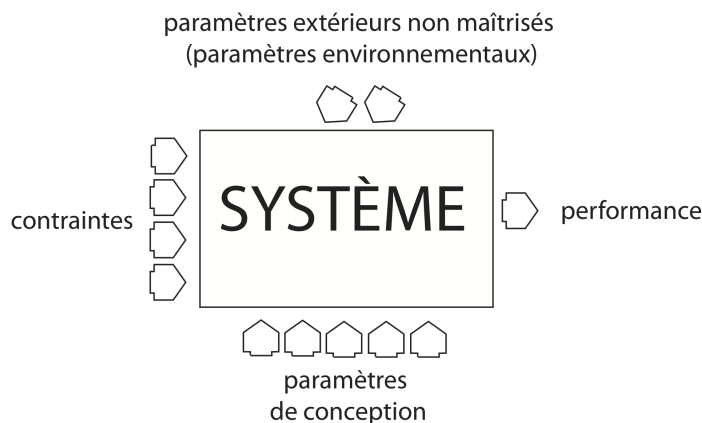


Figure 35. Modèle de fonctionnement d'un système

Approches de la robustesse

L'approche classique de la robustesse consiste à éliminer les causes de la variabilité pour garantir les performances du produit. L'approche alternative de la robustesse, proposée par Taguchi [PARK, 1996], consiste non pas en l'élimination ou la réduction des causes de la variabilité de ses performances, mais en l'ajustement de sa conception afin de le rendre moins sensible aux causes de ces variations. La conception robuste

visé ainsi à optimiser les paramètres de conception d'un produit (ou système) et de son procédé de fabrication afin de réduire la sensibilité de ses performances aux bruits internes et externes [CARO, 2004]. Dans l'approche de la robustesse selon Taguchi, la solution robuste se trouve là où les variations des performances du système par rapport aux variations des paramètres de conception sont minimales.

Dans tout problème de conception robuste, on distingue trois ensembles de paramètres, les variables de conception, les paramètres de conception environnementaux et les fonctions performances.

- Les variables de conception, notées \mathbf{x} , sont les variables maîtrisées et fixées par le concepteur, telles que les dimensions d'une pièce, sa couleur, etc).
 - $\mathbf{x} = (x_1 \ x_2 \dots)^T$
 - \mathbf{x} = vecteur à plusieurs dimensions donnant la liste des variables de conception, par exemple x_1 : diamètre, x_2 : longueur, ...
 - T = transposée (matrice)
- Les paramètres de conception environnementaux, notés \mathbf{p} , sont les paramètres extérieurs et non maîtrisés par le concepteur, tels que l'état émotionnel des clients, leur profil sociodémographique, leur niveau d'expertise...
 - $\mathbf{p} = (p_1 p_2 \dots p_m)^T$
 - par exemple p_1 : niveau d'expertise de l'utilisateur...
- Les fonctions performances sont représentées par le vecteur \mathbf{f} . Pour simplifier la présentation, nous prenons le cas d'une unique fonction performance (vecteur à une dimension). La performance dépend des variables de conception et des paramètres de conception environnementaux. La performance peut représenter des performances techniques du système (par exemple la masse), mais aussi des performances plus subjectives liées à l'attrait du produit sur le marché, la préférence moyenne du produit sur le marché, ...
 - $\mathbf{f} = f(\mathbf{x}, \mathbf{p})$
 - par exemple \mathbf{f} : préférence moyenne du produit sur un marché donné

Formulation d'un problème d'optimisation classique

En optimisation classique, il s'agit de trouver les variables de conception qui permettent d'avoir la meilleure performance possible, c'est à dire de minimiser (ou de maximiser) une fonction (en présence d'éventuelles contraintes $g_i(\mathbf{x}, \mathbf{p})$ – pour simplifier la présentation, nous ne considérons qu'une seule contrainte), sans tenir compte de la variabilité des variables de conception (\mathbf{x}) et des paramètres de conception environnementaux (\mathbf{p}). Un problème d'optimisation classique est représenté comme suit :

Problème d'optimisation classique :	Connaissant le vecteur des paramètres \mathbf{p} <i>Calculer \mathbf{x}</i> afin de <i>minimiser/maximiser</i> $f(\mathbf{x}, \mathbf{p})$ <i>sous contraintes</i> $g(\mathbf{x}, \mathbf{p}) \leq 0$
---	---

Les valeurs des variables de conception sont calculées par le concepteur afin d'optimiser les performances du système.

Formulation d'un problème de conception robuste

En optimisation robuste, (ou optimisation statistique), il s'agit de trouver la valeur moyenne d'une fonction soumise à des contraintes incertaines en tenant compte de la variabilité des variables de conception \mathbf{x} , ou des paramètres de conception \mathbf{p} . La figure 36 illustre le concept de l'optimisation statistique pour un système représentant une seule fonction objectif f et une seule variable de conception \mathbf{x} . Le point N correspond à la solution optimale du problème d'optimisation classique alors que R correspond à la solution du problème d'optimisation statistique, appelé optimum robuste. En effet, si $\mathbf{x}_{\text{optimal}}$ est la valeur nominale de la variable de conception, une variation de 3σ de cette dernière (lors de la fabrication du produit par exemple) peut faire varier la performance f du point N au point M (figure 36). Au contraire, si la valeur nominale de la variable de conception est égale à $\mathbf{x}_{\text{robuste}}$, alors la variation de la performance f est relativement faible, du point R au point S, dans le cas le moins favorable [CARO, 2004]. De la même façon, des variations des paramètres environnementaux \mathbf{p} peut conduire à une dégradation importante de la fonction performance à l'optimum global, alors que ces variations auraient pu être beaucoup plus faibles en un autre point.

La formulation d'un problème de conception robuste est la suivante :

Problème d'optimisation robuste :	<p>Connaissant le vecteur des paramètres \mathbf{p}</p> <p>Calculer l'ensemble des paramètres de conception \mathbf{x} afin de <i>minimiser/maximiser</i> la moyenne de la fonction $\mu f(\mathbf{x}, \mathbf{p})$ et son écart-type $\sigma f(\mathbf{x}, \mathbf{p})$</p> <p>sous contraintes $\mu g(\mathbf{x}, \mathbf{p}) + k\sigma g(\mathbf{x}, \mathbf{p}) \leq 0$</p>
-----------------------------------	--

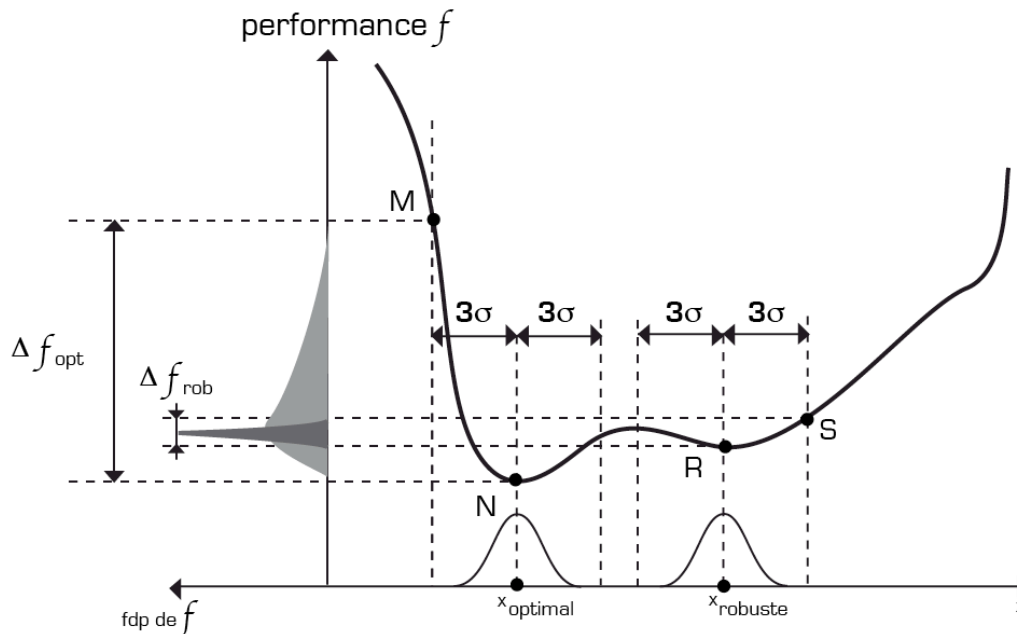


Figure 36. Optimisation statistique, recherche du x_{optimal} . [CARO, 2004].

Formulation du problème de conception robuste appliqué à notre cas en design industriel.

- Les paramètres de conception environnementaux \mathbf{p} , non maîtrisés par le concepteur sont par exemple l'état émotionnel des clients, leur profil sociodémographique, leur niveau d'expertise,... (profil client)
- La fonction performance $f(\mathbf{x}, \mathbf{p})$ est la préférence générale du produit sur le marché, que l'on cherche à maximiser

Dans ce cas, les variations de préférences dues aux différents profils des clients peuvent être représentées par $\sigma f(\mathbf{x}, \mathbf{p})$.

Dans une formulation robuste du problème de conception, il s'agit de déterminer les variables de conception en prenant en compte la variabilité des profils clients, afin de minimiser l'impact des profils clients sur la préférence globale du produit.

Comme représenté sur la figure 36, pour certains groupes de clients, $\sigma f(x,p)$ sera très grand alors que pour d'autres il sera très faible.

Il s'agit donc de déterminer les variables de conception du produit, telles que les variations des profils client n'aient que peu d'impact sur les préférences globales.

3.2 Application de la conception robuste à un problème de design

L'approche conception robuste vise à identifier le point R (figure 36), pour lequel les variations des profils clients par rapport à la valeur cible initiale induisent de faibles variations de la préférence globale du produit sur le marché.

Supposons que le problème de conception soit résolu avec une cible client **p1** (correspondant au groupe 1), l'optimum produit, optimisant la préférence, est alors le point N (figure 37).

Si la cible client est **p2** (correspondant au groupe 2), l'optimum produit est le point Q.

Maintenant si l'on résout le problème de conception robuste, en tenant compte des variations des profils clients, l'optimum produit sera le point R.

Dans ce cas, la définition des variables de conception aboutit à un choix qui ne satisfait pleinement ni un groupe de préférence donné (groupe 1 : $x_{\text{optimal}}=N$), ni un autre (groupe 2 : $x_{\text{optimal}}=Q$), mais qui ne déplaît radicalement à personne (groupe 1 et groupe 2 : $x_{\text{robuste}}=R$).

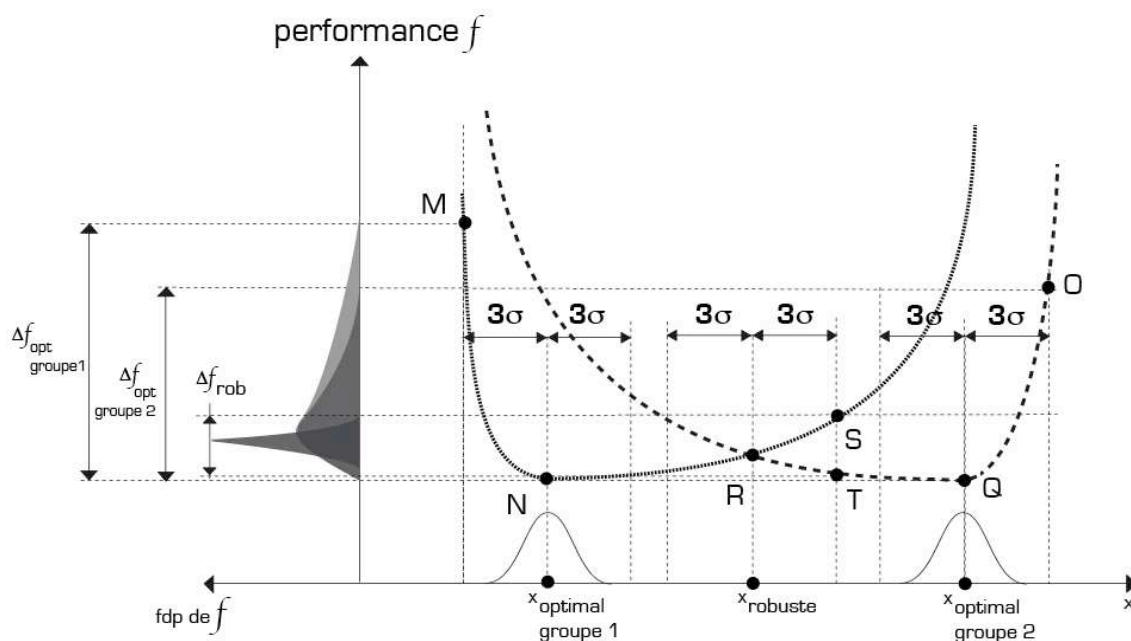


Figure 37. Simulation de l'évolution des performances en fonction des choix de conception ($x_{\text{cible}} = x_{\text{robuste}}$ plutôt que x_{optimal}) pour deux groupes de préférences.

Pour illustrer ce problème, considérons le problème du design d'un intérieur automobile. Considérons trois propositions d'intérieur (figure 38).

La photo de gauche illustre un choix de variables de conception (couleurs) pour lequel les performances pour le groupe de préférences considéré (groupe 1) sont maximisées (point N : $x_{\text{optimal}} \text{ groupe 1} = \text{couleur orange}$). La photo centrale illustre un choix de variables de conception pour lequel les performances pour le groupe de préférences considéré (groupe 2) sont maximisées (point Q : $x_{\text{optimal}} \text{ groupe 2} = \text{couleur violet}$). Enfin, la troisième photo représente la valeur de x_{robuste} , qui n'est optimale ni pour le groupe 1 ni pour le groupe 2, mais qui est robuste vis à vis des deux (ne déplaisant radicalement à aucun), c'est à dire pour laquelle la variabilité (3σ) autour de la valeur cible ($x = \text{couleur gris}$) impacte peu les préférences. Les choix de conception porteraient alors sur des intérieurs gris, variant de gris clair à gris sombre, de matité variable, auxquels s'ajouteraient des pièces de personnalisation colorées, choisies par le client, et satisfaisant ses préférences (couleur orange, violet etc).

La conséquence de l'approche robuste est la satisfaction partielle des préférences, due à un choix de variables de conception qui minimise l'impact de la variabilité des profils clients sur les performances, l'offre tenant partiellement compte des préférences clients.



Figure 38. Illustrations de choix de conception d'intérieur automobile

3.3 Proposition

Nous avons vu dans l'exemple précédent la conception d'un système (couleur intérieure d'automobile) qui minimise l'impact des profils clients sur les préférences en se plaçant à une valeur cible des variables de conception différente des valeurs optimales correspondant à chacun des groupes de clients. Cette approche correspond à une approche de conception robuste telle que proposée par G. Taguchi et aboutit à une solution robuste pour laquelle les variations des performances du système par rapport

aux variations des paramètres de conception sont minimales. La proposition consensuelle satisfait les préférences moyennes communes, mais ne satisfait pas complètement chaque groupe de préférences.

L'approche que nous proposons dans cette thèse est de ne pas renoncer à satisfaire pleinement les préférences différentes des clients, et d'intégrer la variation des profils client dans la formulation du problème de design.

Cette démarche nécessite de comprendre ce qui structure les préférences des différents groupes de clients, du point de vue de leurs attentes. Ceci consiste à interpréter les préférences du point de vue des performances du produit, des attributs qu'il devrait posséder. Il s'agit d'identifier le ou les critères qui sont responsables de la variation des préférences, **c'est à dire identifier le ou les paramètres du produit qui sont la cause des grandes variations de préférences.**

Enfin, nous proposons d'intégrer dans le cahier des charges de nouvelles fonctions performance f_{vi} appelées fonctions « variabilité ». Ces fonctions variabilités correspondent aux valeurs attendues par les groupes clients pour les principaux critères qui expliquent les préférences.

Par exemple, si l'étude des préférences a conduit à la constitution de 2 groupes clients (groupe 1 et 2), et que l'interprétation des préférences indique que le paramètre produit qui segmente le mieux les groupes de préférences est le *critère c*, alors il s'agit d'introduire dans le cahier des charges deux nouvelles fonctions performances f_{v1} et f_{v2} , correspondant aux niveaux de performance attendus $c1$ et $c2$ pour chaque groupe.

Cela correspond à une reformulation du cahier des charges en précisant que le système doit posséder une nouvelle fonction avec un niveau de performance variable ($c1$ et $c2$).

Nouvelle fonction $\mathbf{f} = (f(\mathbf{x}, \mathbf{p}), f_{v1}, f_{v2})$

Dans cette approche, une nouvelle fonction variabilité peut être alors l'offre d'un large choix au client qui peut ainsi personnaliser selon ses préférences l'intérieur de son véhicule : choix de couleurs et matières de sièges, tapis, garnitures, montants intérieurs, tableau de bord, console centrale, etc.

Cette approche nous permet d'instruire les facteurs qui structurent les préférences des groupes G1 et G2 et de définir quel chapeau commun peut constituer une fonction unique de variabilité, dont les deux états expliquent les 2 préférences.

Approche proposée pour déterminer la valeur des paramètres de conception

L'approche proposée s'articule en 3 étapes :

1. Identification des critères : il s'agit de comprendre ce qui structure les préférences des différents groupes de clients, du point de vue de leurs attentes. Ceci consiste à interpréter les préférences du point de vue des performances du produit, des attributs qu'il devrait posséder, et d'identifier le ou les critères qui sont responsables de la variation des préférences, **c'est à dire identifier le ou les paramètres produit qui sont la cause des grandes variations de préférences.**
2. Intégration des critères en conception : il s'agit d'intégrer dans le cahier des charges de nouvelles fonctions performance f_{vi} appelées fonction « variabilité ». Ces fonctions variabilités correspondent aux valeurs attendues par les groupes clients pour les principaux critères qui expliquent les préférences.
3. Conception du système : s'agit de concevoir le système tel qu'il possède la nouvelle fonction commune avec deux niveaux de performance variable ou deux fonctions (celle du groupe 1 et celle du groupe 2), correspondant aux valeurs attendues par les groupes clients pour les principaux critères qui expliquent les préférences.

Résumé du chapitre 3 et transition vers le chapitre 4

Le chapitre 3 nous a permis d'exposer la théorie de la robustesse sur laquelle nous appuyons notre proposition méthodologique : nous considérons la robustesse comme un moyen d'optimiser les variables de conception d'un produit afin de réduire la sensibilité de ses performances aux variabilités de la part subjective des besoins utilisateurs. Nous mobilisons la robustesse en faisant le choix de ne pas renoncer à satisfaire pleinement les préférences différentes des clients. Au lieu de faire de la conception robuste, nous proposons d'intégrer la variabilité des préférences comme nouvelle fonction du système à concevoir.

Nous détaillons un cas d'étude et un cas industriel dans les chapitres 4 et 5 suivants.

4. Chapitre 4

Application de la méthode à la conception d'un produit nouveau

Rappelons les objectifs de recherche, en introduction de cette section portant sur l'application de la méthodologie que nous proposons à un cas de conception. Nous avons retenu deux objectifs scientifiques, le premier consiste à apporter des éléments méthodologiques permettant de construire l'expérience utilisateur liée au produit à concevoir comme facteur différenciant au delà de sa qualité technologie et de sa qualité perçue. Le second objectif est de rendre robuste la conception issue du premier objectif. C'est à dire que nous proposons une méthodologie permettant de garantir dès les phases amont de la conception, la robustesse des performances des produits élaborés, par robustesse nous entendons que leurs performances ne seront pas altérées par la variabilité de la part subjective des besoins utilisateurs.

Le chapitre suivant expose un premier cas d'application de la robustesse en phase préliminaire de conception, il s'agit de :

1. Constituer des connaissances sur les utilisateurs potentiels, en amont du projet, qui soient exploitables pour et dans le projet.

2. Concevoir et garantir dès l'amont de la conception les performances du concept produit quelle que soit la variabilité des utilisateurs.

4.1 Contexte

Le projet de conception porte sur un cas d'étude concernant des lecteurs de musique MP3. Cette étude, bien que n'étant pas une commande, trouve son origine dans la demande industrielle récurrente portant sur la conception de nouveaux produits électroniques à contenus numériques, identifiée par les laboratoires ODIC de l'UTC et IRCCyN de l'ECN comme nécessitant un apport méthodologique important.

En effet, ces entreprises matures cherchent de nos jours à ouvrir de nouvelles opportunités commerciales qui apportent de nouvelles valeurs à l'utilisateur final, sans pouvoir dire précisément à qui le produit ou le service sera destiné et sous quelle forme il se matérialisera.

Cette situation représente une prise de risque importante pour les entreprises, qu'il est souhaitable de contribuer à maîtriser en garantissant les performances du nouveau produit/service quelle que soit la variabilité – de la part subjective du besoin – des utilisateurs finaux.

Dans ce contexte, il apparaît crucial de développer des outils et des méthodes de conception innovante robustes qui permettent de :

1. Mener une phase d'exploration large du champ des possibles
2. Constituer des connaissances pendant la phase d'exploration qui soient exploitables pendant la phase de conception
3. Garantir, par une conception robuste, les performances du produit quelle que soit la variabilité liée à la part subjective du besoin des utilisateurs finaux en regard aux critères identifiés comme pertinents dans la phase précédente.

Dans ce contexte, le défi est de faire évoluer le processus de conception afin de prendre en considération ces conditions. Nous proposons dans ce chapitre la mise en œuvre d'une méthode permettant :

- d'identifier les besoins subjectifs implicites des utilisateurs en amont de la conception
- de les prendre en compte dans une conception robuste, de sorte à garantir les performances des concept-produits quelle que soit la variabilité liée à la part subjective des besoins, alors identifiée.

4.2 Méthode

Rappelons que de nombreuses théories étudient le lien entre les besoins utilisateurs, les fonctionnalités du produit et les paramètres de conception. Nous avons décrit dans la section 2 l'Analyse Fonctionnelle et le Design Axiomatique, deux méthodes de conception qui visent à satisfaire les besoins de l'utilisateur final à travers un processus spécifique.

Cependant, comme nous l'avons vu au chapitre précédent, une des limites de ces méthodes est inhérente au cas particulier de la conception innovante où les paramètres de conception – et les données utilisateurs en particulier – ne sont pas connus en amont du projet. Le problème de manque de connaissances concernant l'utilisateur final est d'autant plus perceptible que l'on se trouve dans des applications de la haute technologie pour lesquelles les potentialités de la technologie sont largement supérieures à l'acceptabilité des produits technologiques par les utilisateurs finaux.

Pour pallier ce problème, nous proposons de constituer des connaissances concernant l'utilisateur final en amont du projet, de sorte à définir des paramètres de conception qui soient mobilisables pour et dans le projet de conception robuste.

Une fois ces connaissances constituées, des méthodes d'évaluation, telles que le différentiel sémantique, qui étudie le lien entre les valeurs des consommateurs et la forme d'un produit, et l'analyse sensorielle, qui étudie le lien entre les propriétés organoleptiques d'un produit et les préférences des consommateurs, pourront être mises en œuvre. En effet ces méthodes nécessitent d'avoir un produit ou une représentation du produit suffisamment définis pour être mises en œuvre.

La méthode que nous proposons comporte 3 phases, la section suivante en décrit les étapes :

1. Phase 1 : Exploration large des possibles par des designers – propositions de concept-produits,
2. Phase 2 : Analyse sensorielle des concept-produits
 1. Phase 2.1 : Tests de préférences (test hédoniques) d'une population d'utilisateurs potentiels, identification des groupes de préférences,
 2. Phase 2.2 : Analyse descriptive (profils flash) des concept-produits par un groupe de sujets

3. Phase 2.3 : Analyse descriptive par un groupe d'experts en design et étude des corrélations entre préférences et attributs sensoriels, de sorte à comprendre les facteurs qui structurent les préférences des utilisateurs potentiels,
3. Phase 3 : Identification des fonctions variabilité f_{vi} à partir des facteurs de préférences et conception robuste intégrant les nouvelles fonctions identifiées.

La section suivante décrit dans le détail chacune de ces étapes.

4.2.1 Phase 1 : Exploration créative large par les designers

Cette première phase a été réalisée dans le cadre d'un enseignement d'analyse de la qualité perçue des produits de consommation dispensé à l'université de technologie de Compiègne. Ce cours rassemble 20 étudiants de 4^{ème} année en filière Ingénierie du Design Industriel et de 2^{ème} année en master Design Innovation Produit.

Les données d'entrée de la phase 1

La durée du projet a été de 3 mois. La consigne était « Inventer un dispositif permettant d'écouter de la musique de façon agréable et restituez votre proposition sous la forme de dessins accompagnés d'un descriptif expliquant le fonctionnement et les modalités de contrôle des fonctions du produit ».

Les données de sortie de la phase 1

Les propositions individuelles des étudiants ont été rassemblées et 13 concept-produits ont été sélectionnés. Tous les dessins dont la qualité de trait permettait d'en comprendre le concept ont été sélectionnés pour l'étude. Ces propositions sont présentées sur la figure 39.

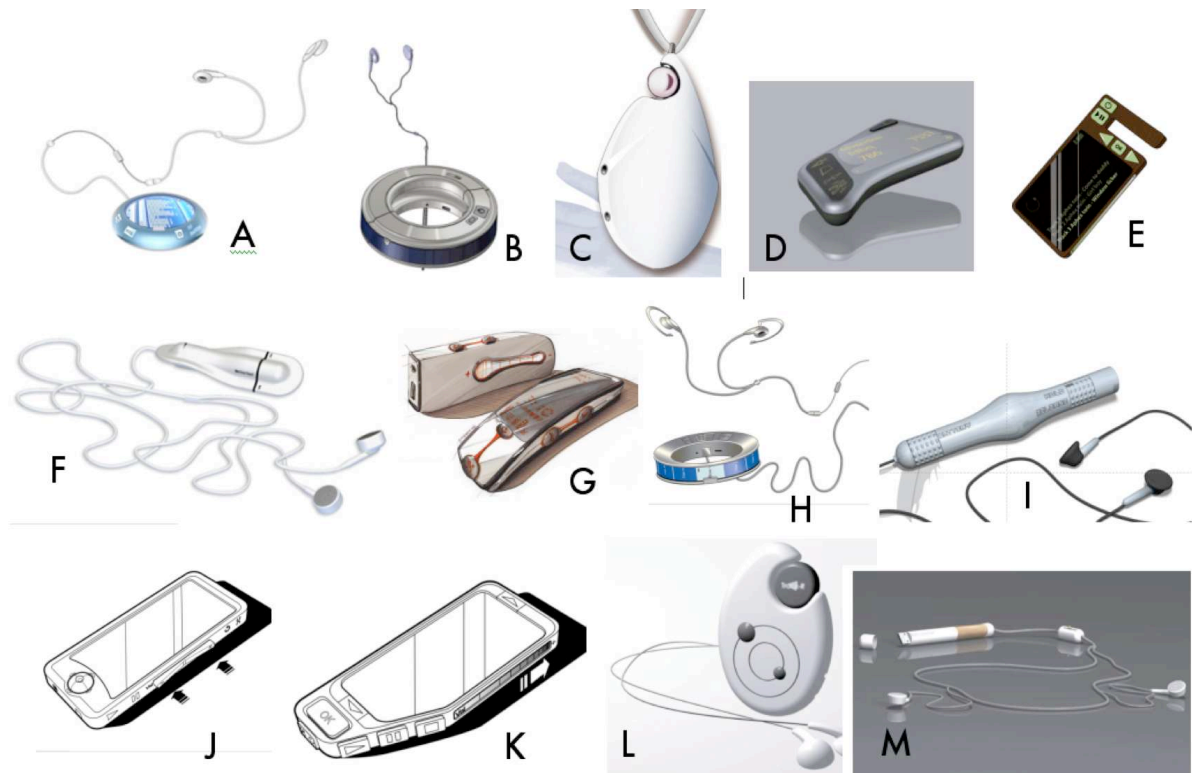


Figure 39. Sélection des 13 concept-produits de dispositifs musicaux pour l'étude

Les propositions de concept-produits ont été représentées sous la forme de dessins et de commentaires précisant les modalités de contrôle des fonctions.

4.2.2 Phase 2 : Évaluation des préférences par des utilisateurs potentiels : analyse sensorielle

Cette section présente les conditions expérimentales dans lesquelles se sont déroulés les tests de préférences et les tests experts, et décrit les étapes qui nous permettent d'identifier les différences majeures entre les groupes de préférences.

Il est à noter que nous mobilisons l'espace produits dans l'objectif d'identifier les différences majeures entre les groupes de préférences, c'est à dire les caractéristiques distinctives des groupes de préférences, et non de trouver le champ de solutions parmi l'espace produits. Autrement dit, nous mobilisons l'espace produits comme terrain permettant de révéler la variabilité liée aux attentes subjectives des groupes de préférences.

4.2.3 Phase 2.1 : Tests hédoniques : préférences

Les données d'entrée de la phase 2.1

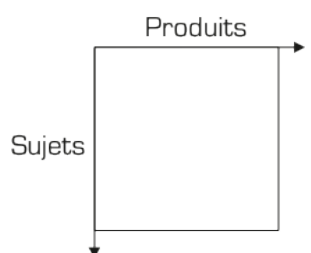
Les 13 dessins de concept-produits référencés de A à M comme indiqué sur la figure 39 ont été évalués par 70 personnes. Ils ont été exposés en plusieurs occasions, dans un premier temps lors d'un cours portant sur la Qualité (FQ01), puis lors d'un cours en Initiation au design industriel (DI01), auprès de 50 étudiants, et enfin lors d'occasions individuelles à 20 autres personnes. Les explications ont porté sur l'usage des objets, ce à quoi ils servent, ainsi que sur les actions à effectuer pour les utiliser. La consigne donnée à chaque répondant était de classer les 13 dessins en regard à ses préférences et par ordre de préférence décroissante, en accordant au préféré le rang 13 et au moins apprécié le rang 1. Les dessins étaient imprimés sur des feuilles de format A5, en couleur.

Sur les 70 réponses, 64 réponses ont pu être exploitées. Les résultats des tests de préférences ont été saisis dans un tableur et ont pu être analysés avec des outils d'analyse statistique. Le tableau de résultats (partiels), présenté sur la figure 40, rassemble les 13 dessins repérés par les lettres de A à M, et les répondants par les chiffres de 1 à 64.

Nous précisons aussi que pour traiter les données, nous considérons les données de rang comme des données quantitatives, bien que nous sachions la limite de cette hypothèse (le rang n d'un sujet i n'a pas la même valeur que le rang n du sujet j).

Ce tableau constitue la matrice des données de préférences. Il se compose de :

- lignes d'individus : les sujets répondants (1 à 64)
- colonnes de variables : les 13 concept-produits



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	11	13	4	8	7	12	9	10	2	5	6	3	1
2	10	13	3	8	6	11	9	12	4	2	5	7	1
3	1	11	3	13	10	12	5	9	6	8	7	4	2
4	13	10	7	6	5	8	4	11	12	3	2	9	1
5	11	12	4	8	7	2	13	10	5	9	6	3	1
6	9	6	5	13	10	4	1	3	8	11	12	7	2
7	11	4	1	10	7	9	8	3	5	13	6	12	2
8	9	4	1	8	11	10	7	3	5	12	6	13	2
9	10	9	4	6	7	12	8	11	3	1	2	13	5
10	9	8	5	13	4	1	7	10	2	12	11	3	6
11	13	10	9	12	11	3	8	5	2	7	6	4	1
12	1	11	3	13	10	12	5	9	6	8	7	4	2
13	13	10	7	6	5	8	4	11	12	3	2	9	1
14	11	12	4	8	7	2	13	10	5	9	6	3	1
15	9	6	5	13	10	4	1	3	8	11	12	7	2
16	11	4	1	10	7	9	8	3	5	13	6	12	2
17	9	4	1	8	11	10	7	3	5	12	6	13	2
18	10	9	4	6	7	12	8	11	3	1	2	13	5
19	9	8	5	13	4	1	7	10	2	12	11	3	6
20	13	10	9	12	11	3	8	5	2	7	6	4	1
21	1	11	3	13	10	12	5	9	6	8	7	4	2
22	13	10	7	6	5	8	4	11	12	3	2	9	1
23	11	12	4	8	7	2	13	10	5	9	6	3	1
24	9	6	5	13	10	4	1	3	8	11	12	7	2
25	11	4	1	10	7	9	8	3	5	13	6	12	2
26	9	4	1	8	11	10	7	3	5	12	6	13	2
27	10	9	4	6	7	12	8	11	3	1	2	13	5
28	9	8	5	13	4	1	7	10	2	12	11	3	6
29	13	10	9	12	11	3	8	5	2	7	6	4	1
30	1	11	3	13	10	12	5	9	6	8	7	4	2
31	13	10	7	6	5	8	4	11	12	3	2	9	1
32	11	12	4	8	7	2	13	10	5	9	6	3	1
33	9	6	5	13	10	4	1	3	8	11	12	7	2
34	11	4	1	10	7	9	8	3	5	13	6	12	2
35	9	4	1	8	11	10	7	3	5	12	6	13	2
36	10	9	4	6	7	12	8	11	3	1	2	13	5
37	9	8	5	13	4	1	7	10	2	12	11	3	6
38	13	10	9	12	11	3	8	5	2	7	6	4	1
39	1	11	3	13	10	12	5	9	6	8	7	4	2
40	13	10	7	6	5	8	4	11	12	3	2	9	1
41	11	12	4	8	7	2	13	10	5	9	6	3	1
42	9	6	5	13	10	4	1	3	8	11	12	7	2
43	11	4	1	10	7	9	8	3	5	13	6	12	2
44	9	4	1	8	11	10	7	3	5	12	6	13	2
45	10	9	4	6	7	12	8	11	3	1	2	13	5
46	9	8	5	13	4	1	7	10	2	12	11	3	6
47	13	10	9	12	11	3	8	5	2	7	6	4	1
48	1	11	3	13	10	12	5	9	6	8	7	4	2
49	13	10	7	6	5	8	4	11	12	3	2	9	1
50	11	12	4	8	7	2	13	10	5	9	6	3	1
51	9	6	5	13	10	4	1	3	8	11	12	7	2
52	11	4	1	10	7	9	8	3	5	13	6	12	2
53	9	4	1	8	11	10	7	3	5	12	6	13	2
54	10	9	4	6	7	12	8	11	3	1	2	13	5
55	9	8	5	13	4	1	7	10	2	12	11	3	6
56	13	10	9	12	11	3	8	5	2	7	6	4	1
57	1	11	3	13	10	12	5	9	6	8	7	4	2
58	13	10	7	6	5	8	4	11	12	3	2	9	1
59	11	12	4	8	7	2	13	10	5	9	6	3	1
60	9	6	5	13	10	4	1	3	8	11	12	7	2
61	11	4	1	10	7	9	8	3	5	13	6	12	2
62	9	4	1	8	11	10	7	3	5	12	6	13	2
63	10	9	4	6	7	12	8	11	3	1	2	13	5
64	9	8	5	13	4	1	7	10	2	12	11	3	6

Figure 40. Forme et matrice (partielle) des résultats du test de préférences.

Les données de sortie de la phase 2.1

Notre objectif est de segmenter la population interrogée en sous-ensembles dont les éléments réagissent de façon similaire aux produits, dans notre cas, il s'agit d'identifier les sous-ensembles de sujets qui ont des préférences similaires en regard aux produits présentés.

À partir des résultats consignés dans le tableau de la figure 40, la première chose que nous cherchons à faire est de regarder la structure des préférences des sujets pour chercher éventuellement des groupes. Pour cela, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été menée dans le but d'identifier les groupes de préférences. Les résultats sont présentés ci-dessous.

Classification Ascendante Hiérarchique

La classification Ascendante Hiérarchique est une technique qui permet de créer une hiérarchie sur des items à partir d'un tableau décrivant les items sur des variables. Elle conduit à la construction d'un *arbre de classification* (ou *dendrogramme*) montrant le passage des n individus au groupe « total » par une succession de regroupements. On suppose qu'une structure de classes existe au sein de la population étudiée, le but de l'analyse est de la mettre à jour et de l'identifier. Dans notre cas, les items sont les sujets référencés de 1 à 64 et les variables les 13 dessins référencés de A à M. La distance utilisée est la distance euclidienne, et l'agrégation est réalisée selon la méthode de Ward. La CAH permet de distinguer au sein d'un échantillon d'items (sujets) des sous-populations aussi homogènes que possible tout en étant bien séparées entre elles, et d'en mesurer les proximités, à partir de variables quantitatives. Les distances entre sujets sont définies à partir des rangs de classement des produits.

Le premier résultat à regarder est le diagramme de niveaux des nœuds. La forme de ce diagramme donne une indication sur la structure des données : quand un saut important est observé, signifiant que la dissimilarité est forte entre deux regroupements, nous avons atteint un niveau où nous pouvons considérer que la constitution de groupes est suffisamment homogène et arrêter l'agrégation des données. La troncature automatique emploie ce critère pour décider comment créer une partition à partir de la hiérarchie.

Le dendrogramme, ou arbre hiérarchique, représente la manière dont l'algorithme procède pour regrouper les individus, les uns après les autres, puis les sous-groupes.

Au final, l'algorithme a progressivement regroupé toutes les observations. En abscisse sont indiqués les sujets répondants, la hauteur de chaque branche de l'arbre indiquant la dissimilarité entre chaque répondant. Plus la distance est grande, plus haute sera la branche. La ligne en pointillés représente la troncature et permet de visualiser que deux groupes homogènes ont été identifiés.

Nous avons effectué une troncature automatique, l'outil utilisé (XL-stat) nous propose une troncature en deux groupes, le résultat est présenté sur la figure 41 ci-dessous.

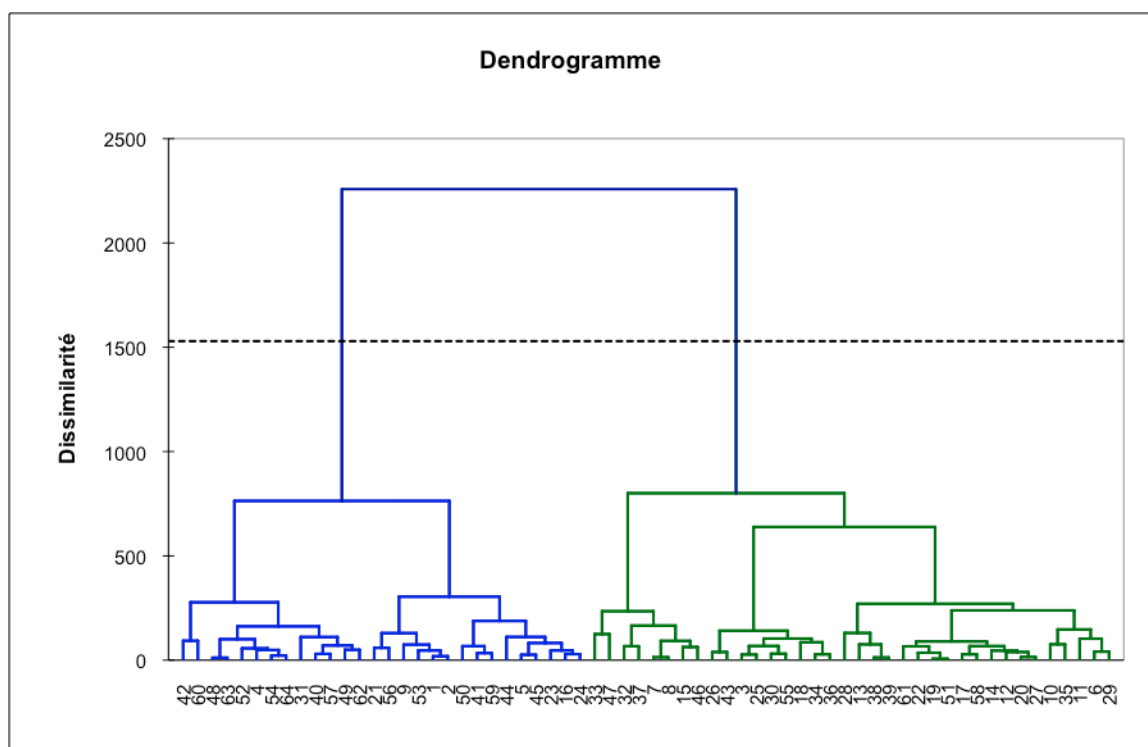


Figure 41. Dendrogramme des 64 répondants, en regard à leurs préférences

La méthode de Ward, qui nous a permis de réaliser ces regroupements, a consisté à réunir les deux clusters dont le regroupement conduit à une augmentation minimum de l'inertie intra-classe. Les deux groupes de sujets sont d'égale homogénéité, le dendrogramme est aussi plat pour les deux groupes, nous considérons les deux clusters comme pertinents. Ces deux clusters représentent les deux groupes de préférences G1 et G2.

Une fois les groupes de sujets identifiés, il nous importe de décrire les données contenues dans la matrice des sujets/produits et de visualiser les données dans l'espace et repérer les variables qui ont le plus de corrélations entre elles.

Pour cela, nous effectuons une Analyse en Composantes Principales (ACP) de cette matrice en considérant 3 variables supplémentaires, la moyenne des notes des sujets du groupe 1 (G1), la moyenne des notes du groupe 2 (G2) et la moyenne globale (mean).

Principe de l'ACP

L'ACP est une méthode d'analyse multivariée qui consiste à transformer des variables liées entre elles en de nouvelles variables indépendantes les unes des autres. Ces nouvelles variables appelées « composantes principales », ou axes, permettent de définir des plans factoriels préférentiels de projection des données initiales, et ainsi de réduire l'information initiale en un nombre de composantes plus limité que le nombre initial de variables.

L'interprétation des résultats se limite bien souvent aux deux premiers axes factoriels, dans la mesure où un pourcentage important de l'information initiale y est contenue.

Interprétation des résultats de l'ACP

En ACP normée (cas présent, les réponses varient de 1 à 13), les variables projetées sur chaque plan factoriel se trouvent à l'intérieur d'un cercle de rayon 1. Plus une variable est projetée vers le bord du cercle, mieux elle est représentée dans le plan. Par ailleurs, deux variables bien représentées et proches l'une de l'autre sont corrélées positivement tandis que deux variables qui s'opposent sont corrélées négativement. Une orthogonalité entre deux variables traduit l'absence de corrélation linéaire.

Interprétation des axes en fonction des anciennes variables

On peut interpréter les axes principaux en fonction des variables initiales. Une variable initiale expliquera d'autant mieux un axe principal qu'elle sera fortement corrélée avec la composante principale correspondant à cet axe [DUB06].

La figure 42 représente l'ACP effectuée sur la matrice des données de préférences, appelée cartographie interne des préférences. Cette cartographie interne des préférences permet de générer une carte des sujets sur laquelle on peut identifier les préférences de consommateurs représentés sous forme de vecteurs. Le vecteur G1 représente le groupe de préférences n°1, le vecteur G2 le groupe de préférence n°2, et le vecteur « Mean » les moyennes des deux groupes, G1 et G2 ainsi que la moyenne globale Mean sont projetées en variables supplémentaires.

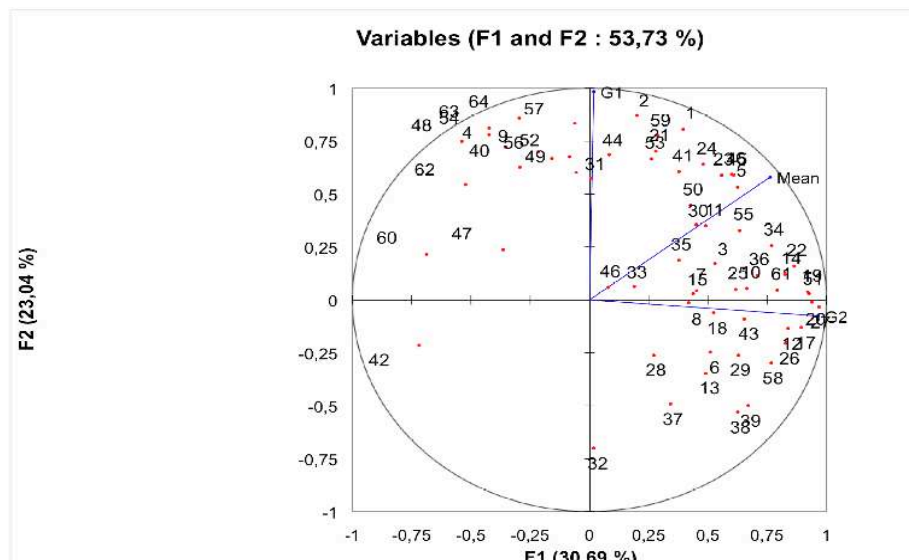


Figure 42. Cartographie interne des préférences des deux premiers facteurs (F1-F2) pour les 64 répondants.

La cartographie interne des préférences confirme les résultats obtenus par la CAH, nous pouvons noter la forte contribution du groupe 1 (G1) à l'axe F2, et la forte contribution du groupe 2 (G2) à l'axe F1.

Concernant le plan des produits, la figure 43 indique la position des produits sur les axes de la projection F1-F2. Nous pouvons noter la contribution importante des produits A, B et H à l'axe F2 (correspondant au groupe G1), et la contribution des produits D, E, G, J et K à l'axe F1, correspondant au groupe G2.

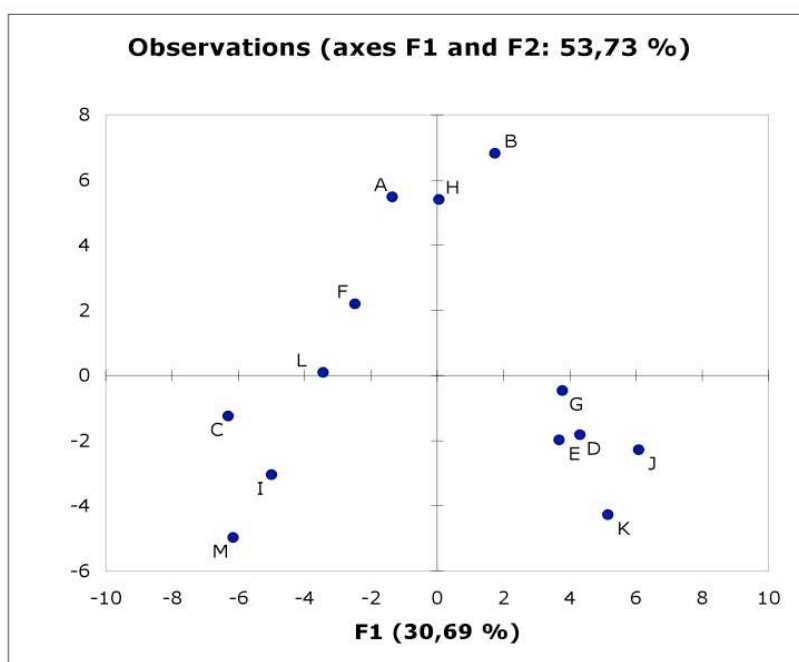


Figure 43. Plot des deux premiers facteurs (F1-F2) pour les 13 concept-produits

Ces résultats sont à considérer prudemment et de façon complémentaire sachant que seulement 53% de l'information y est représentée (Plan F1-F2).

Nous pouvons toutefois donner le profil moyen de préférence de chaque groupe comme indiqué sur la figure 44, établi à partir de la table 2 ci-dessous.

2. Barycentres des classes :

Classe	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
G1	10,786	10,857	6,357	5,679	5,964	8,357	6,643	10,286	4,250	5,893	4,286	8,071	3,500
G2	5,861	7,306	3,306	9,222	8,722	6,417	8,472	6,444	4,167	10,722	9,750	6,722	3,889

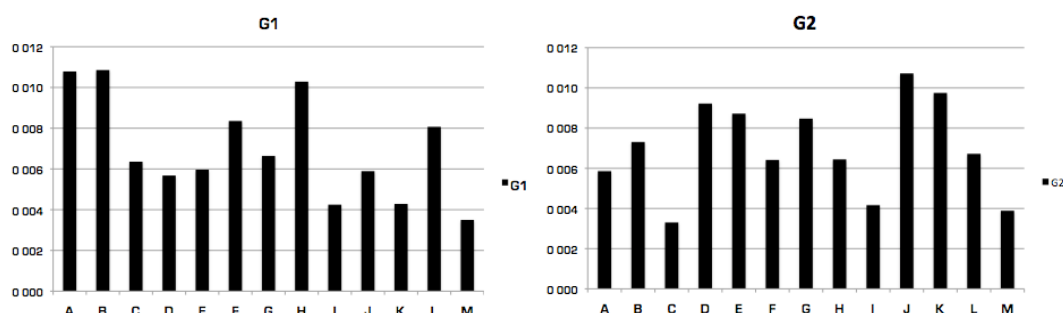


Figure 44. Profils moyens des groupes de préférences G1 (à gauche) et G2 (à droite)

Dans cette section, nous venons d'analyser les réponses du test de préférences, nous avons pu identifier la constitution des groupes de préférences et les produits préférés par chaque groupe de préférence.

Pour identifier les produits typiques de chaque groupe de préférences, nous procédons au calcul de la valeur test. La valeur test est un outil qui permet d'identifier et de trier par ordre d'importance, en comparant la moyenne d'un groupe à la moyenne générale pour chaque observation donnée, les produits caractéristiques du groupe.

Soit U la valeur test, pour chaque groupe et chaque observation, on calcule U de la façon suivante :

$$U = (M_k - M) / s_k$$

- M_k : moyenne des valeurs du groupe k pour la variable considérée
- M : moyenne générale pour la variable considérée
- s_k : carré de l'écart type (σ^2) pour le groupe k

Pour chaque produit, les résultats des valeurs tests U_{MG1} et U_{MG2} des groupes G1 et G2 sont exposés dans la table 3.

3. Valeurs tests

Classe	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	σ^2
G1	10,79	10,86	6,36	5,68	5,96	8,36	6,64	10,29	4,25	5,89	4,29	8,07	3,50	4,24
G2	5,86	7,31	3,31	9,22	8,72	6,42	8,47	6,44	4,17	10,72	9,75	6,72	3,89	3,52
moyenne	8,323	9,081	4,831	7,450	7,343	7,387	7,558	8,365	4,208	8,308	7,018	7,397	3,694	
U_{MG1}	0,581	0,419	0,360	-0,418	-0,325	0,229	-0,216	0,453	0,010	-0,569	-0,644	0,159	-0,046	
U_{MG2}	-0,700	-0,505	-0,434	0,503	0,392	-0,276	0,260	-0,546	-0,012	0,686	0,776	-0,192	0,055	

Le critère retenu pour identifier les caractéristiques d'un groupe est la valeur absolue de la valeur test, on obtient ainsi les variables les plus typiques du groupe en sélectionnant les valeurs absolues les plus importantes des valeurs tests du groupe (figure 45). Les valeurs tests significatives (les plus proches de 1 en valeur absolue) sont notées en gras dans le tableau.

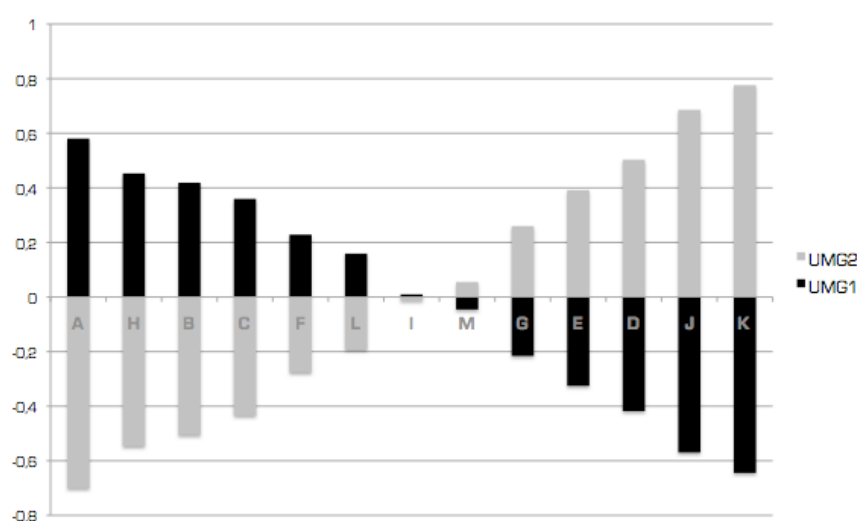


Figure 45. Valeurs tests des groupes de préférences G1 (en noir), G2 (en gris)

Ainsi pour le groupe G1, les produits préférés typiques sont A ($U=0,581$), H ($U=0,453$) et B ($U=0,419$), les produits typiques les moins appréciés, K ($U=-0,644$) et J ($U=-0,569$), Pour le groupe G2, les produits préférés typiques sont J ($U=0,686$), K ($U=0,776$) et D ($U=0,503$), les produits typiques les moins appréciés, A ($U=-0,7$), H ($U=-0,546$) et B ($U=-0,505$). Il nous importe maintenant de décrire les produits afin de comprendre quels sont les facteurs qui structurent les préférences de la population que nous avons questionnée. Pour cela nous proposons de mobiliser la méthode du profil flash, présentée dans la section suivante.

4.2.4 Phase 2.2 : Étape descriptive, Profils Flash

Le profil flash est une méthode d'analyse sensorielle descriptive basée sur la combinaison originale d'une technique de profil libre associée à un mode de

présentation comparatif de l'ensemble des produits à caractériser [DELARUE and SIEFFERMANN, 2004].

Cette méthode, comme les autres méthodes d'analyse sensorielle, vise à mesurer les propriétés sensorielles (dans notre cas : propriétés sensorielles perçues) des produits par la mesure des perceptions de sujets (dans notre cas des designers).

Le profil flash met l'accent sur l'obtention d'un positionnement sensoriel rapide des produits sans nécessiter le développement d'une description sémantique basée sur un vocabulaire précis et consensuel. Il permet d'utiliser des sujets naïfs pour la description et non pas des experts.

4.2.4.1 Déroulement de la méthode

- présenter simultanément la totalité de l'espace produits (pas de phase de familiarisation de l'espace produits) aux sujets. Vérifier auprès des sujets l'absence de confusion entre hédonisme et description analytique, ils doivent être capables de générer des attributs discriminants et non hédoniques.
- laisser les panélistes utiliser leur propre vocabulaire (pas de phase de construction d'un glossaire spécifique consensuel)
- se concentrer sur la position relative des produits entre eux (pas de phase d'explication de la signification des mots utilisés)
- laisser les panélistes faire la hiérarchisation en se concentrant sur les différences effectivement perceptibles les plus importantes (pas de phase de sélection des descripteurs)
- rythme d'une réunion habituelle (pas de multiplication de mini séances d'entraînement et de tests).

Cette méthode, présente les avantages suivants en regard aux autres méthodes classiques de description sensorielle :

- les sujets génèrent eux-mêmes les termes descriptifs (description libre ou profil libre ou Free Choice Profiling) [WILLIAMS and ARNOLD, 1991]. Il n'y a plus le besoin de former l'expert à se familiariser avec les attributs sensoriels, ni avec l'espace produits, les sujets construisent leur propre système d'attributs discriminants. Les experts sujets doivent simplement pouvoir produire des attributs discriminants et non hédonistes,
- évaluation comparative,

- procédure de classement immédiate (la réalisation d'un profil classique nécessite la mise en place d'un glossaire sensoriel spécifique après une longue période d'entraînement des panélistes).

4.2.4.2 Résultats de la méthode des profils Flash

La caractérisation de l'espace produits a été conduite par 25 personnes, étudiants de la filière Ingénierie du Design Industriel, sensibilisés à l'analyse sensorielle dans le cadre du cours d'Analyse de la qualité perçue des produits de consommation.

Les données d'entrée de la phase 2.2

Les 25 personnes ont reçu individuellement un lot de 13 images de produits et leurs commentaires associés (usage, fonctionnement). Il leur était demandé (épreuve en 3 volets), à partir de l'espace produits, de :

1. nommer un certain nombre d'attributs discriminants qu'ils/elles pensaient pertinents pour décrire les différences concernant la sémantique produit entre les produits-concepts,
2. proposer un classement des produits selon ces attributs. Il n'y avait pas de consigne sur le nombre d'attributs à générer.

Les données de sortie de la phase 2.2

Les sujets ont évalué les 13 produits selon leur propre système d'attributs discriminants, tel que décrit par la méthode des profils flash. Ils ont classé les produits en regard à chaque attribut.

Chaque sujet a commencé par définir un ensemble d'attributs, pertinents selon lui, pour décrire les produits, les termes recueillis sont présentés par ordre d'occurrence sur la figure 46. Au total, 51 attributs différents ont été générés par les sujets. Les termes présentant la plus forte occurrence sont : *innovant* (cité 14 fois), *robuste* (cité 14 fois), *intuitif* (cité 9 fois), *ludique* (cité 9 fois), puis viennent les termes *fonctionnel* (7 fois), *technologique* (7 fois), *simple* (6 fois), *attractif* (4 fois), *avant-gardiste* (4 fois), *complet* (4 fois) comme indiqué sur la figure 46 (zoom sur les 10 premiers termes, la liste complète est donnée en annexe 3).

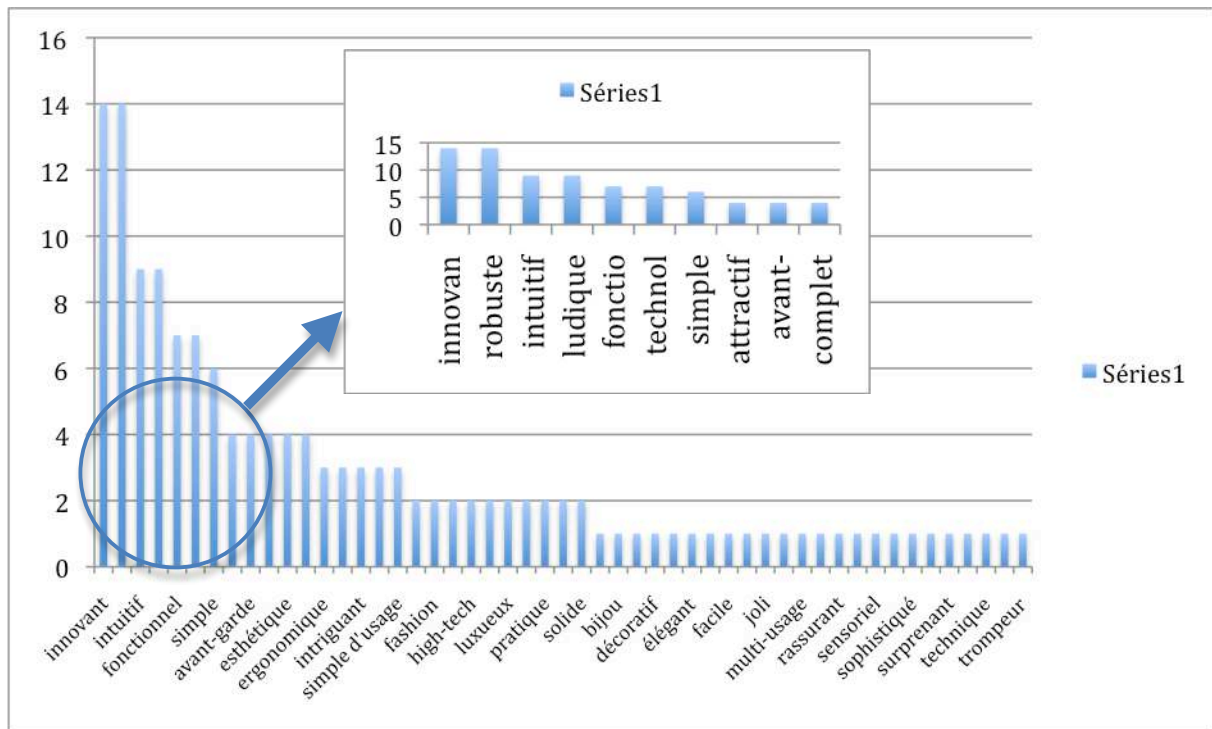


Figure 46. Représentation graphique partielle de l'occurrence des 51 attributs

Chaque sujet a établi un positionnement relatif des produits selon l'espace des attributs qu'il a proposé et a classé les 13 produits pour chaque attribut sur une échelle de 1 à 13. Nous exposons sur la figure 47 deux exemples de résultats de positionnement relatif effectué par deux sujets (Sujet n°25 et n°28). La figure représente les deux premiers axes principaux d'une ACP normée appliquée au tableau descriptif de chaque sujet.

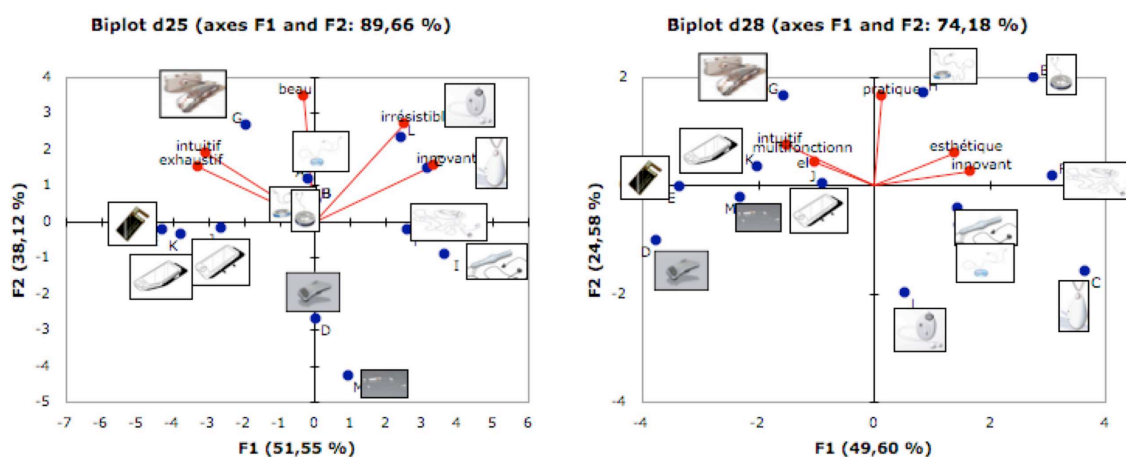


Figure 47. Représentation graphique des positionnements produits pour 2 sujets (n°25 à gauche, n°28 à droite.)

Nous pouvons constater que les résultats sont difficilement comparables, les attributs sont différents et l'espace d'attribut n'est pas le même. L'originalité de la méthode de profils Flash est que les évaluations des sujets sont faites par rapport à une liste d'attributs librement choisie mais la difficulté est de pouvoir comparer les évaluations pour le groupe d'experts, car elles ne sont pas faites sur le même ensemble d'attributs. Or il nous faut trouver un espace commun pour pouvoir synthétiser les résultats des sujets. Pour déterminer un espace consensuel de représentation, nous utilisons l'Analyse Procustéenne Généralisée (GPA) présentée dans la section suivante.

4.2.4.3 Comparaison des systèmes de représentations individuelles par Analyse Procustéenne généralisée

Deux cas peuvent se présenter en analyse sensorielle, soit la notation des experts est établie sur un profil conventionnel commun avec des descripteurs communs, soit la notation a été effectuée sur un profil libre, ce qui est notre cas, auquel cas les experts n'ont alors pas utilisé les mêmes descripteurs, ni même le même nombre de descripteurs. La GPA est une solution possible pour représenter les produits dans un espace consensuel, et identifier a posteriori les dimensions de l'espace de consensus en comparant avec la position des variables des différents experts [GOW75].

La méthode GPA permet également de comparer la proximité entre les termes qui sont employés par différents experts pour décrire des produits. La méthode a été décrite la première fois par Gower [GOW75], l'interprétation de l'analyse GPA peut être trouvée dans [GOW92]. Avec la méthode de profil libre, les variables qui décrivent les produits ne sont pas nécessairement identiques, le nombre de variables peut également être différent pour chaque configuration. (Les évaluations d'un sujet k (une table de données de produits \times attributs) se nomme une configuration, et est noté X_k).

Le principe de la méthode GPA est d'appliquer des transformations (centrage, rotations/réflexions, homothéties, translations) aux configurations X_k afin de minimiser la distance entre les configurations transformées X_{kt} et la configuration de consensus X_{moy} . Ceci permet de comparer les différents espaces produits des personnes interrogées. On appelle configuration de consensus la configuration moyenne (X_{moy}) calculée à partir des m configurations.

La figure 48 montre le cas avec deux configurations, nécessitant d'effectuer deux transformations pour obtenir la configuration moyenne.

$$X_{\text{moy}} = X_1t + X_2t$$

Le principe de la GPA est de déterminer les transformations Transf1 et Transf2 qui minimisent la distance Dist.

$$\text{Dist} = \text{Dist}(X_1t, X_{\text{moy}}) + \text{Dist}(X_2t, X_{\text{moy}})$$

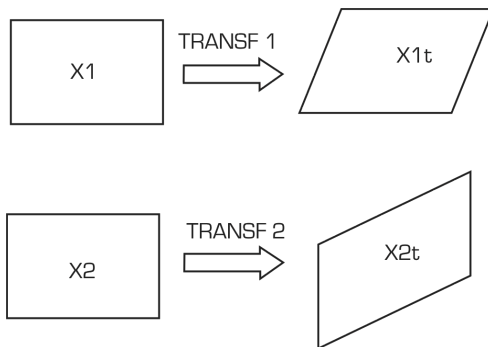


Figure 48. Exemple avec deux configurations

Les objectifs de la GPA sont principalement de :

1. Montrer les relations entre les produits et les attributs,
2. Contrôler les performances d'un panel d'experts (de sujets dans notre cas),
3. Relier des données sensorielles aux données instrumentales (mesurées).

Les données de sortie de la GPA sont :

- La configuration de consensus X_{moy} (moyenne des configurations transformées) sur laquelle nous pouvons réaliser une ACP pour représenter les données de la configuration consensuelle.
- Le test de consensus : il s'agit d'un test statistique (basé sur des permutations aléatoires des variables des configurations) qui calcule un seuil de confiance pour le consensus.

4.2.5 Analyse du consensus des termes sémantiques

Un ensemble de 24 configurations sur les 13 produits a été considéré (correspondant à seulement 24 sujets – un sujet, fournissant trop de données manquantes, a été retiré du panel). Nous avons réalisé une analyse GPA sur les 24 configurations.

Le niveau de confiance obtenu pour le test de consensus est de 85% : cela signifie que le consensus est relativement fort (une organisation aléatoire des variables dans les configurations a une faible probabilité (15%) de donner un meilleur consensus).

Étude de la carte des consensus

La représentation de la configuration consensuelle (2 premiers facteurs, carte des attributs) est présentée sur la figure 49 (plan des individus). Nous pouvons observer la position relative des produits concernant les deux axes, nous pouvons dire que le groupe de produits J, K et E est opposé au groupe composé par C, F, I et L sur l'axe 1. Sur l'axe 2, le groupe composé d'A, B et H est opposé au groupe formé par les produits M et D.

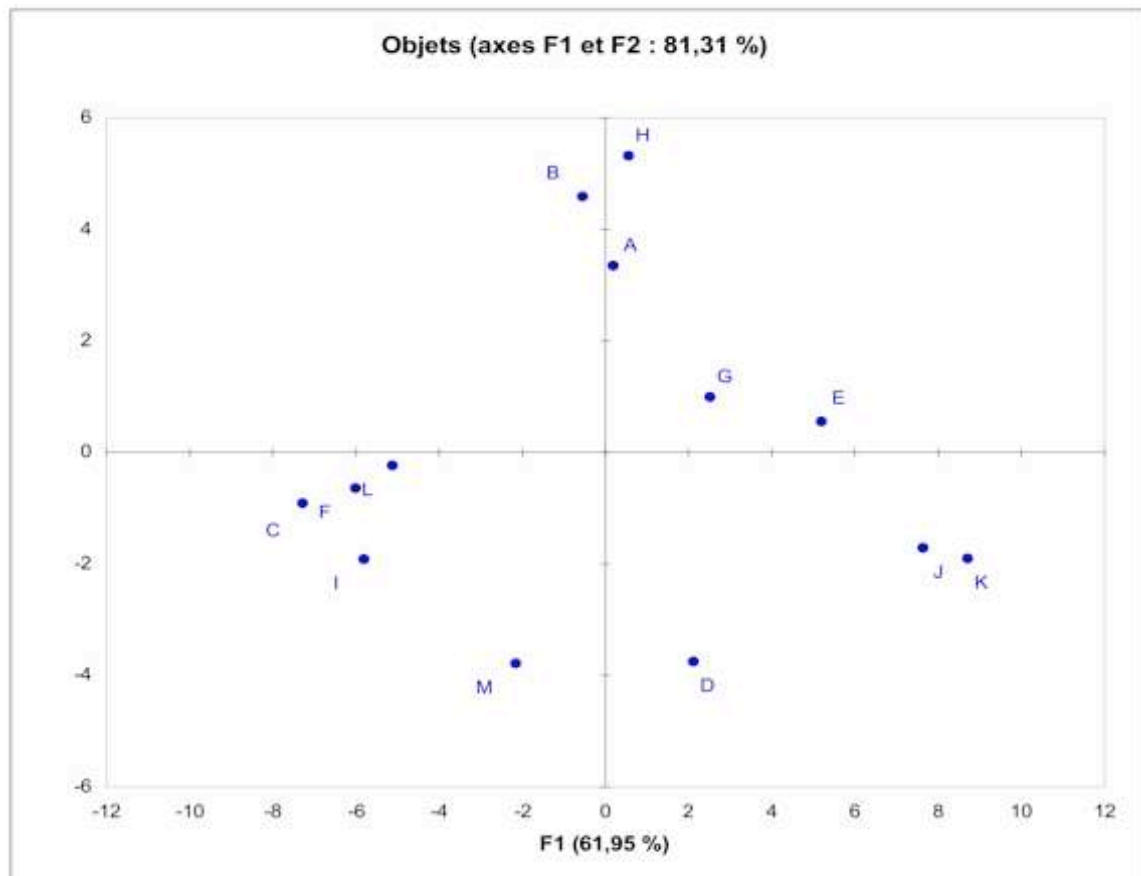


Figure 49. ACP de la configuration consensuelle après GPA (axes 1 et 2)

Nous projetons en variable supplémentaires sur les deux plans F1-F2 de l'ACP du consensus les termes de chaque sujet, comme présenté sur la figure 50. Pour interpréter les axes, nous faisons une interprétation sémantique des termes à proximité (deux variables bien représentées et proches l'une de l'autre sont corrélées positivement tandis que deux variables qui s'opposent sont corrélées négativement), Nous considérons une variable projetée vers le bord du cercle comme étant mieux représentée qu'une variable proche du centre.

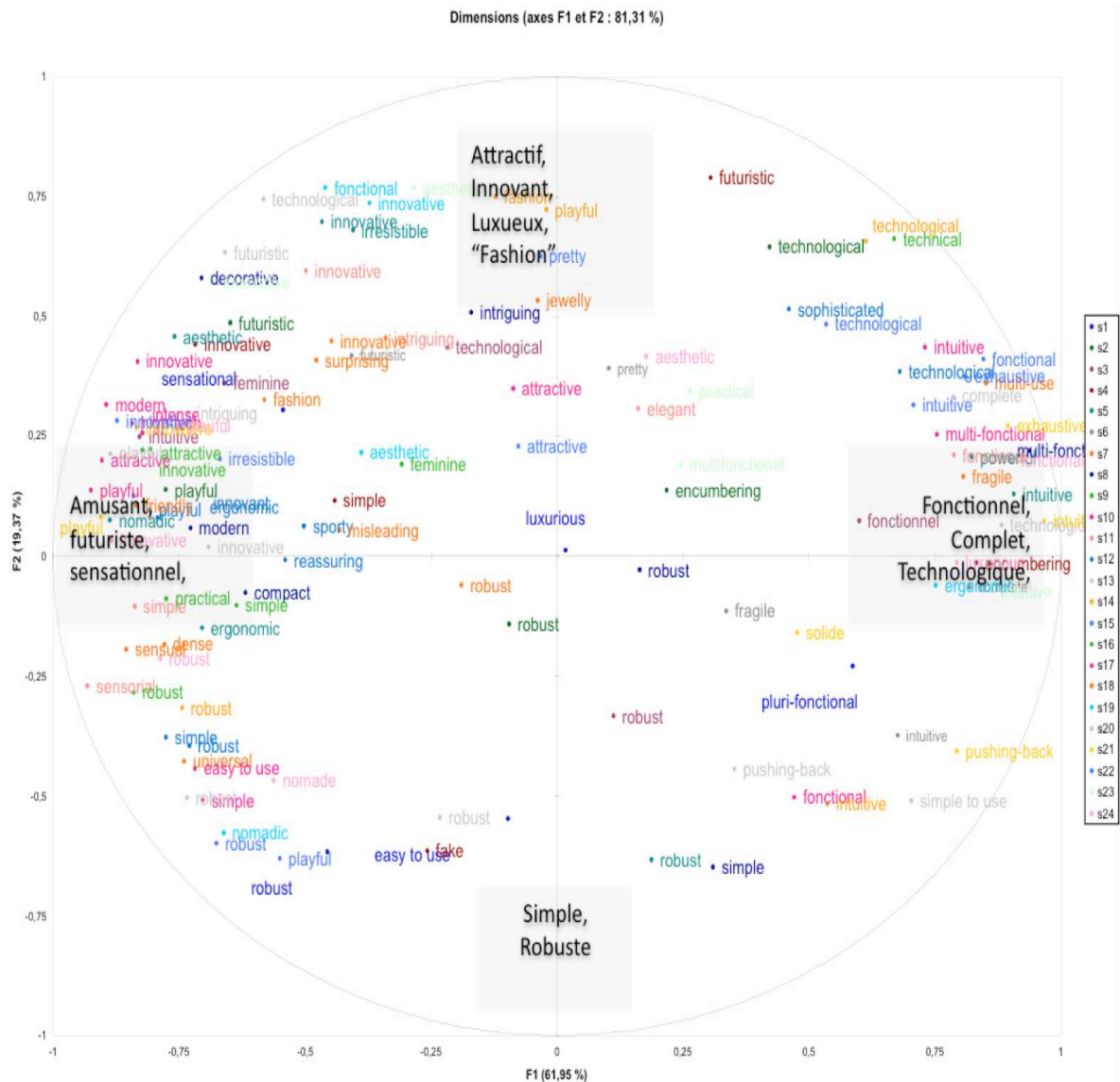


Figure 50. GPA – Plan des variables (projection en variable supplémentaire des attributs de chaque sujet sur l'ACP du consensus)

Nous proposons une liste d'attributs qui semble être significative pour expliquer les axes 1 et 2. L'axe 1, recueillant 61,95% de l'information, distingue les produits selon les attributs « fonctionnel », « complet », « technologique » d'un côté et « ludique », « futuriste », « sensationnel » de l'autre. L'axe 2, recueillant 19,37% de l'information, distingue les produits selon les attributs « à la mode », « luxueux », attrayant, « innovant » d'un côté, et « robuste » et « simple » de l'autre. L'analyse descriptive des produits par les experts a été complétée par la caractérisation physique de chaque attribut sensoriel. Il s'agit du troisième volet de l'épreuve présenté ci-après.

4.2.6 Phase 2.3 : Caractérisation physique

Cette description repose sur les compétences des experts en design de produits, sur leur capacité à analyser non seulement les formes des produits mais aussi leur structure, leur composition, leurs modes manipulateurs. Chaque description d'attribut est présentée dans la table ci-dessous.

4. Tableau de résultats des descriptions d'attributs.

Attribut	Caractéristiques physiques
Fonctionnel	De forme simple (protogéométrique parallélépipédique), incluant un grand écran et comprenant de nombreux boutons de commande facilement reconnaissables, permettant de naviguer avec précision dans le menu,
Technologique	De lignes sophistiquées, la forme est compacte et mince, avec un grand écran, une coque en plastique technique et de couleur blanche,
Complet	Présente de nombreuses fonctionnalités
Innovant	Présente un principe technique évident qui n'a pas été vu préalablement, invitant à expérimenter une nouvelle gestuelle,
Attrayant	Proche de la définition de l'attribut « innovant »,
Fashion	Présente des formes rondes, un écran, des textures brillantes, des couleurs se rapportant à celle des bijoux,
Luxeux	Semblable à l'attribut « fashion »
Futuriste	Proche de la définition de « sensationnel », présente une interfaces tactile ou une gestuelle 3D, des formes rondes, des éléments physiques originaux matérialisant des fonctions nouvelles.
Ludique	Se réfère au geste de l'utilisateur, concerne des produits ne présentant aucun bouton,
Sensationnel	Se rapporte à des jeux d'enfants, à des interfaces tactiles, à des formes rondes, à des éléments physiques originaux matérialisant des fonctions (exemple de la « pièce de monnaie » en rotation sur le produit L, incitant le mouvement), texture douce, pureté de forme,
Robuste	Défini par une forme parallélépipédique, un volume épais, aucun élément indépendant ni morceau mobile, une forme logique et compacte, aucun écran, ou si un écran existe, il est réduit, texture : plastique ou caoutchouc,
Simple	Défini par les boutons évidents et explicites, des formes géométriques simples, un bouton par fonction.

Les produits associés aux attributs sémantiques, « *fonctionnel* », « *complet* » et « *technologique* » sont les produits E, G, J et K. Les produits associés aux attributs sémantiques « *ludiques* », « *futuristes* » et « *sensationnels* » sont les produits C, F, I et L. Les produits associés aux attributs sémantiques « *à la mode* », « *luxeux* », « *attractifs* » et « *innovants* » sont les produits A, B et H. Les produits associés aux attributs sémantiques « *robustes* » et « *simples* » sont les produits D et M.

4.3 Résultats

4.3.1 Phase 3 : Identification d'une variabilité inter/intra utilisateurs.

L'objectif de cette étape est de trouver les attributs segmentant les groupes de préférences, c'est à dire les caractéristiques qui discriminent le plus les deux groupes

de préférences, que ce soit parmi les préférences ou parmi les aversions. Dans un premier temps, nous allons identifier les caractéristiques physiques des produits qui suscitent les préférences ainsi que les aversions pour chaque groupe de préférences, nous identifierons aussi les caractéristiques physiques attendues et rejetées, communes aux deux groupes et différenciant les deux groupes. Nous identifierons alors les attributs sur lesquels porte la variabilité et proposerons un critère de variabilité.

Suite aux résultats des sections précédentes, nous considérons les deux groupes de préférences, G1 et G2, ayant pour produits préférés A, B, H et D, E, G, J et K respectivement.

Considérons tout d'abord le groupe G1.

Les produits A, B et H apparaissent sur la partie supérieure de la carte qui décrit des produits « *fashion* », « *innovants* » et « *attractifs* » « *luxueux* » (figure 51). Nous reportons les caractéristiques objectives décrivant ces attributs, issues de la table 3, sur la représentation ACP des produits ci-dessous :

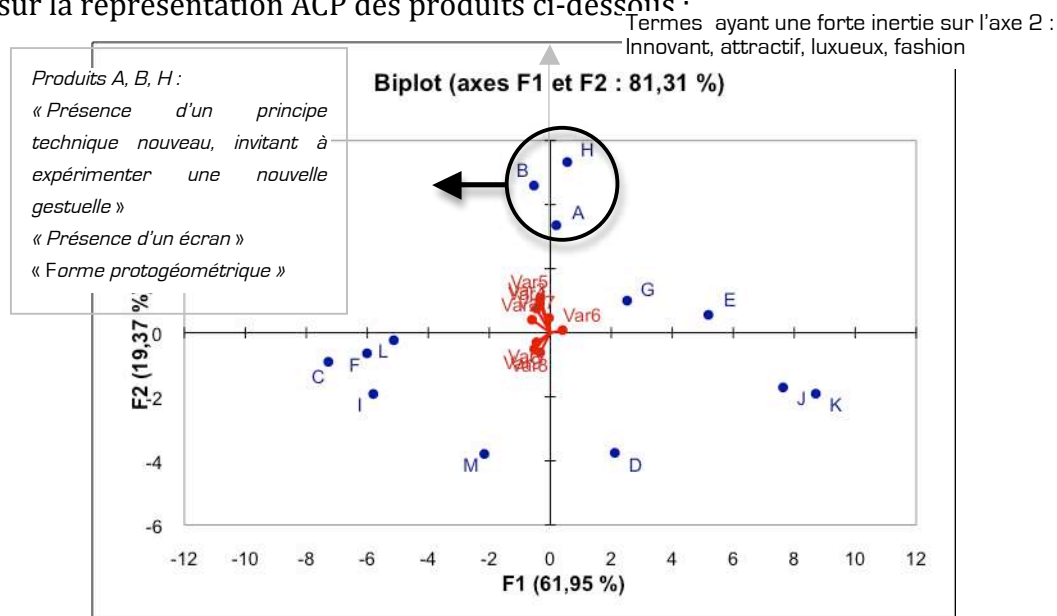


Figure 51. Sélection des produits préférés du groupe G1 sur l'ACP du consensus

Considérons ensuite le groupe G2

Les produits D, E, G, J et K, présents sur le quart droit de la carte peuvent être décrits comme « *fonctionnels* » et « *technologiques* » (figure 52).

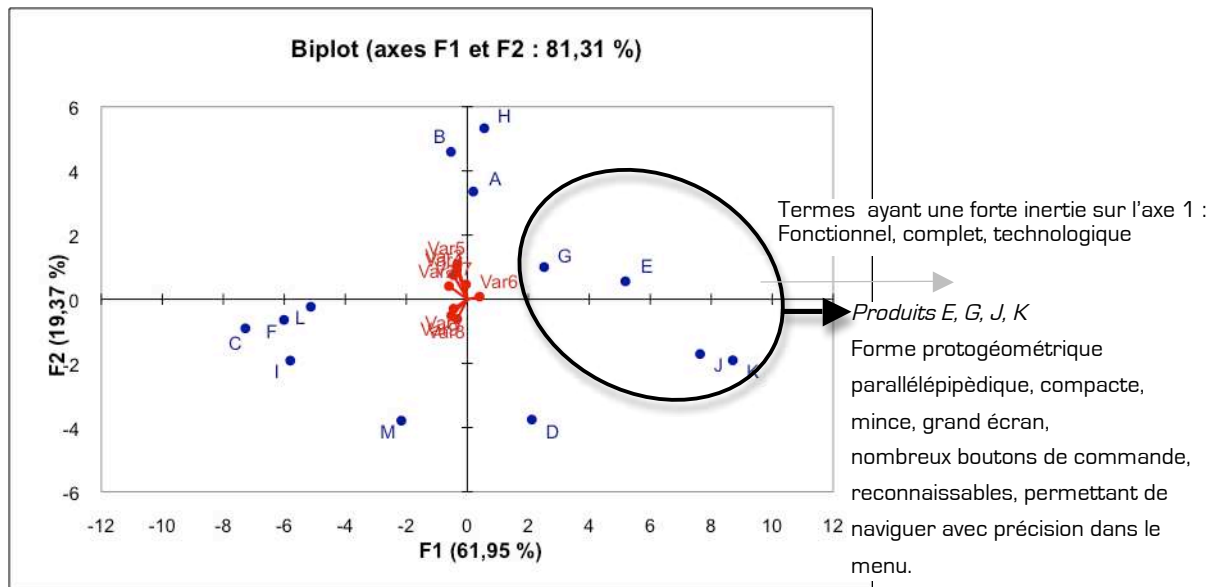


Figure 52. Sélection des produits préférés du groupe G2 sur l'ACP du consensus

Caractéristiques physiques communes attendues

Les caractéristiques physiques communes attendues sur lesquelles portent les préférences des deux groupes sont :

- Une forme protogéométrique, plutôt ronde pour satisfaire le groupe G1, plutôt parallélépipédique pour satisfaire le groupe G2.
- Les deux groupes attendent la présence d'un écran, plutôt petit pour le groupe G1 et plutôt large et grand pour le groupe G2.

Caractéristiques physiques discriminantes attendues et rejetées

La présence d'un principe technique nouveau invitant à une gestuelle nouvelle plaît au groupe G1, alors que le groupe G2 préfère des dispositifs présentant de nombreux boutons de commande, reconnaissables, et permettant de naviguer avec précision dans le menu.

Ces caractéristiques portant sur la gestuelle de manipulation sont discriminantes.

Regardons aussi la contribution aux axes des autres produits.

Regardons les produits qui se trouvent placés près de l'axe 1 à l'opposé des E, G, J et K préférés du groupe G2. Les produits C, F, L et I sont extrêmes sur l'axe 1, et contribuent donc fortement à l'inertie de cet axe. Ces produits, caractérisés par les sujets comme étant « ludiques », « futuristes » et « sensationnels » se trouvent placés exactement à l'opposé des produits préférés du groupe G2 par rapport à l'axe 2.

Ce qui plaît au groupe G2 est l'ensemble des attributs présentés ci-dessus, et ce qui déplaît à ce groupe est l'ensemble des caractéristiques suivantes (caractéristiques

objectives des attributs *ludiques* », « *futuristes* » et « *sensationnels* »), portant précisément sur

- l'absence d'écran
- la modalité de contrôle de l'interface (tactile ou gestuelle), se référant à une gestuelle nouvelle de l'utilisateur, présentant des éléments physiques originaux et aucun bouton.

Par ailleurs, regardons les produits extrêmes sur l'axe 2 à l'opposé des produits A, B et H, préférés du groupe 1.

Les produits M et D sont extrêmes sur l'axe 2, ils sont décrits comme étant « *robustes* » et « *simples* ». Ces attributs sémantiques contribuent fortement à l'inertie de cet axe, mais à l'opposé des attributs « *fashion* », « *innovants* » et « *attractifs* » « *luxueux* ». qui se trouvent placés près de l'axe 2 à l'autre extrémité. Les caractéristiques physiques des produits qui suscitent les aversions du groupe 1 sont les formes parallélépipédiques à volumes épais, sans aucun élément indépendant ni morceau mobile, aux formes compactes, et sans aucun écran, ou si un écran existe, il est réduit. Les textures sont composées de plastique ou caoutchouc. Des boutons évidents et explicites, des formes géométriques simples, un bouton par fonction. La population constituant le groupe 1 n'apprécie pas du tout les produits présentant ces caractéristiques.

Ce qui plaît au groupe G1 est l'ensemble des caractéristiques physiques des termes « *fashion* », « *innovants* » et « *attractifs* » « *luxueux* ». , et ce qui déplaît à ce groupe est l'ensemble des caractéristiques suivantes (caractéristiques objectives des attributs « *robuste* » et « *simple* »), portant précisément sur :

- l'absence d'écran
- les textures composées de plastique ou caoutchouc
- la modalité de contrôle par boutons.

La table 5 synthétise les attributs expliquant les préférences et les aversions de chaque groupe.

5. Tableau de résultats des descriptions d'attributs des produits préférés et rejetés

Préférences du groupe 1	Préférences du groupe 2
<ul style="list-style-type: none"> - forme simple protogéométrique ronde - principe technique évident qui n'a pas été vu préalablement, invitant à expérimenter une nouvelle gestuelle - un écran, 	<ul style="list-style-type: none"> - forme simple protogéométrique parallélépipédique - grand écran et comprenant - nombreux boutons de commande facilement reconnaissables, permettant de naviguer avec précision dans le menu

- des textures brillantes, des couleurs se rapportant à celle des bijoux	- nombreuses fonctionnalités
Aversions du groupe 1 <ul style="list-style-type: none"> • absence d'écran • les textures composées de plastique ou caoutchouc • modalité de contrôle par boutons 	Aversions du groupe 2 <ul style="list-style-type: none"> • absence d'écran • modalité de contrôle de l'interface (tactile ou gestuelle), se référant à une gestuelle nouvelle de l'utilisateur, présentant des éléments physiques originaux et aucun bouton.

Les caractéristiques physiques qui ont été trouvées de façon commune dans les deux groupes de préférences sont la présence d'un écran (un petit écran de commande ou un grand écran) et la présence d'une forme protogéométrique (la forme ronde est préférée par le groupe 1, et la forme parallélépipédique par le groupe 2). Concernant l'écran, tous les produits préférés, A, B et H pour le groupe 1, D, J et K pour le groupe 2, présentent une forme incluant un écran. Les produits qui n'incluent pas un écran semblent avoir peu de chances d'être préférés.

Concernant les différences principales entre les produits préférés par les deux groupes de préférences, ces différences sont formalisées respectivement par d'une part la « *présence d'un principe technique évident n'ayant pas été vu auparavant, invitant à expérimenter un nouveau geste* », et d'autre part « *la présence de boutons et d'un écran traditionnels qui permettent de naviguer avec précision dans le menu* ».

En synthèse :

En s'aidant du tableau, les analyses nous permettent de savoir où porter notre attention. En effet, au delà des questions d'ordre formel, de couleur ou de texture, les caractéristiques discriminantes se révèlent être la modalité de contrôle des dispositifs. La variabilité porte donc sur la nécessité de contrôler, qui varie d'un groupe à l'autre. Nous proposons de nous concentrer sur le degré de contrôle qui segmente les préférences. Cela étant, les termes ne sont pas unifiés dans une même dimension qui reprend les termes comme étant les pôles d'une unique dimension.

Le « *degré de contrôle* » étant l'unique dimension qui nous paraît sensée pour le produit considéré et qui réconcilie les deux attributs sémantiques propres aux deux groupes de produits : *attractif, innovant et luxueux* d'une part, et *technologique, fonctionnel et complet* d'autre part, nous proposons de créer une nouvelle fonction « *variabilité du degré de contrôle* » pour laquelle les deux groupes de préférences sont satisfait par les deux extrêmes :

- degré de contrôle fin et précis satisfaisant le groupe G1 (*fonctionnel...*)
- degré de contrôle aléatoire satisfaisant le groupe G2 (*innovant...*)

4.3.2 Intégration d'une nouvelle fonction variabilité du « degré de contrôle » dans le processus de conception robuste

Ces résultats nous amènent à formuler l'hypothèse suivante : Si les deux états des attributs sensoriels qui distinguent les préférences utilisateur peuvent être pris comme deux pôles d'une fonction « variabilité », alors nous pouvons intégrer cette fonction de variabilité dans la conception d'un produit.

Ainsi, l'objectif étant de garantir les performances du produit, quelles que soient les préférences utilisateurs, nous pourrions garantir les préférences à la fois de l'utilisateur préférant des produits qui présentent un « *principe technique évident n'ayant jamais été vu et invitant à expérimenter un nouveau geste* », et les préférences de l'utilisateur préférant des produits avec « *présence de boutons et d'écran traditionnels pour naviguer et manipuler avec précision les contenus numériques* ».

Nous proposons d'associer le facteur distinguant les produits (dans notre cas, la modalité de contrôle) dans une nouvelle fonction variabilité concernant l'utilisateur, dans notre cas, la *variabilité du besoin de contrôle* de l'utilisateur, telle que présenté sur la figure 53.

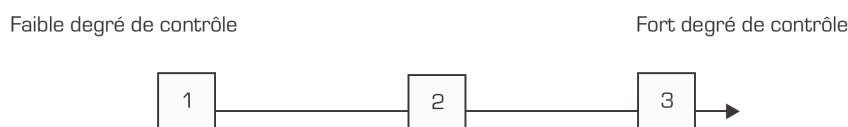


Figure 53. Fonction variabilité du « degré de contrôle » variant de faible à fort

Proposition résultante

Nous proposons d'ajouter au cahier des charges une fonction nouvelle portant sur la variabilité du « *degré de contrôle* » de l'utilisateur. Nous reformulons les éléments du cahier des charges avec les spécifications suivantes :

- l'objet devra permettre de contrôler finement les contenus et permettre aussi de contrôler de manière aléatoire
- l'objet devra comporter un écran absolument

Le prototype présenté sur la figure 54 est un lecteur de musique offrant trois modalités d'interaction pour l'utilisateur, prenant en compte ses besoins de contrôler avec précision ou pas, le choix de musique.

Si cet utilisateur appartient au groupe de préférence G2, le mode « expert » lui permettra de trouver avec précision et rapidement un titre de musique parmi les titres contenus dans la liste en glissant délicatement l'antenne choisie jusqu'à ce que le titre ait été atteint. Si cet utilisateur appartient au groupe de préférence G1, le mode « innovant, sensoriel » lui proposera une musique selon sa gestuelle, prenant en considération la manière dont il inclinera les antennes, les unes après les autres, une caresse lente sur les antennes conduira à un choix de titres lents parmi les titres les plus lents contenus les antennes, une caresse plus dynamique conduira à un choix plus rythmé, le mode « aléatoire » est joué quand l'utilisateur incline une seule antenne. Dans ce cas-ci, les titres contenus dans l'antenne sont joués aléatoirement.



Figure 54. Photographie du démonstrateur, conçu pour prendre en compte le besoin de contrôle, pouvant varier de faible à fort.

4.4 Discussion

Recueillir les préférences de clients ou d'utilisateurs potentiels et identifier les facteurs qui structurent ces préférences sont deux tâches bien différentes. L'identification est en fait une tâche extrêmement complexe. Dans cette étude, les résultats de la phase d'analyse descriptive effectuée par les experts (phase 2.3) nous ont permis d'identifier les facteurs différenciant les deux groupes de préférences G1 et G2. Nous avons pu constater que les attributs des produits structurant les préférences d'un groupe sont comparables entre eux, que ce soit pour le groupe 1 ou pour le groupe 2. Chaque groupe de préférences présente des préférences et des aversions pour des produits possédant des caractéristiques descriptives similaires. Aussi, nous pouvons dire que

les deux groupes sont « purs ». De plus, les facteurs qui structurent les préférences d'un groupe sont précisément ceux qui structurent les aversions de l'autre groupe.

Supposons que les produits préférés d'un groupe possèdent des attributs très différents, voire opposés, et que l'on retrouve dans chaque groupe des préférences pour certains de ces produits (par exemple les produits A, B, C préférés par G1, D, E, F rejetés par G1, A, E, C préférés par G2, D, B, F rejetés par G2). Il serait possible, en calculant les valeurs tests pour chaque groupe de préférences, d'identifier les produits typiques des préférences et aversions de chaque groupe. Ainsi, après une étape descriptive, les caractéristiques physiques des produits structurant les préférences et aversions seraient identifiées, et permettraient de conclure quant au degré d'éclectisme des groupes de préférences. En effet, il est tout à fait possible d'apprécier des produits dont les caractéristiques sont opposées, citons l'exemple donné dans les Cahiers du Club Crin : on peut apprécier fortement une Ferrari et une 2 CV sans pour autant apprécier un modèle qui présenterait des caractéristiques intermédiaires [CRIN, 1997].

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu exposer les premiers éléments de réponse aux objectifs de recherche consistant d'une part à :

1. apporter des éléments méthodologiques permettant de construire l'expérience utilisateur du produit à concevoir comme facteur différenciant au delà de sa qualité technologique et de sa qualité perçue, c'est à dire à constituer des connaissances sur les utilisateurs potentiels, en amont du projet, qui soient exploitables pour et dans le projet,

et d'autre part

2. concevoir et garantir dès l'amont de la conception les performances du concept produit, quelle que soit la variabilité des utilisateurs, c'est à dire à rendre robuste la conception du produit issue du premier objectif.

Nous avons détaillé une méthodologie permettant de garantir dès les phases amont de la conception, la robustesse des performances du produit lecteur musical, notamment par la prise en compte de la variabilité de la part subjective – dans ce cas, les préférences clients – en conception. Nous avons interprété les facteurs discriminants

des deux groupes de préférences, et avons proposé le « degré de contrôle » comme étant l'unique dimension nous paraissant sensée pour le produit considéré et réconciliant les deux attributs sémantiques propres aux deux groupes de produits : attractif, innovant et luxueux d'une part, et technologique, fonctionnel et complet d'autre part. Nous avons proposé de créer une nouvelle fonction « variabilité du degré de contrôle » pour laquelle les deux groupes de préférences sont satisfaits par les deux extrêmes. Nous avons intégré cette nouvelle fonction au cahier des charges de conception et avons développé un démonstrateur intégrant cette nouvelle fonction. Le dispositif qui en résulte se distingue des dispositifs existants par sa capacité à générer deux types d'expérience utilisateurs distinctes, l'une propose d'accéder aux contenus musicaux de façon experte, (l'utilisateur peut retrouver un titre musical précisément selon la position de l'antenne en translation), l'autre propose d'accéder aux contenus musicaux de façon sensible, (l'utilisateur peut trouver une ambiance musicale selon sa gestuelle sur l'ensemble des antennes).

Cette méthode, reposant d'une part sur une étude de design visant l'exploration de l'espace de conception et d'autre part sur une étude d'analyse sensorielle, peut être gérée par une équipe de R&D ou R&I de l'entreprise ou d'un partenaire, et conduite de plusieurs manières selon que l'équipe possède ou non une activité de design intégrée ainsi qu'un service d'évaluation de la qualité perçue.

L'étude de design peut être menée en interne (un ou plusieurs designers mobilisés pendant plusieurs jours peut aboutir à un jeu de concepts large et diversifié), ou en externe (plusieurs designers en concurrence pendant un temps court peuvent aboutir à un résultat comparable). Les propositions de concept-produits issues de l'étude de design constituent le panel de produits sur lequel porte l'analyse sensorielle. Cette phase peut être aisément menée en interne si l'entreprise peut mobiliser un groupe d'évaluateurs volontaires et disponibles, intéressés par la caractérisation des concept-produits, lors d'une étude de profils Flash (Méthode des profils Flash). L'étude des préférences menée en parallèle doit être réalisée en externe, auprès de la population ciblée par l'entreprise, les clients (actuels ou potentiels) auxquels s'adresse le produit en question. L'analyse des facteurs structurant les préférences des clients et le traitement des résultats constituant la valeur ajoutée de la méthode, il est important de :

- bien choisir le panel d'évaluateurs mobilisé pour la caractérisation des concept-produits, en effet il faut veiller à ce que l'évaluateur caractérise le produit selon les dimensions qui apportent une valeur ajoutée au produit (ici, l'attention porte sur l'usage et sur les éléments du produit qui rendent possible une expérience utilisateur)
- bien choisir la population à solliciter lors des tests de préférences : une population dont les préférences ne sont pas homogènes est préférable à une population homogène de sorte à identifier des facteurs descriptifs discriminants,
- lors des tests de préférences, présenter les produits et leurs modalités d'usage : des produits dont le mode d'usage est bien présenté sont évalués selon cette dimension, les produits dont le mode d'usage est peu explicité seront évalués préférentiellement selon leur dimension esthétique. (cas des personnes qui ne parviennent pas à se projeter dans l'usage).

Une des difficultés de la méthode porte précisément sur l'identification des facteurs discriminants sur lesquels faire porter la variabilité. Selon le degré de rupture souhaité du produit à concevoir par rapport au produit existant, il est possible de faire porter la variabilité sur des facteurs sémantiques (forme, couleur, matière), des facteurs sensoriels (couleurs, matières, texture, acoustique des mécanismes etc) ou d'usage (éléments physiques, mécaniques ou tactiles, manipulables, constitutifs de l'expérience). C'est cette dernière dimension qui représente l'enjeu de ce travail de thèse.

Nous proposons de développer la méthode dans une seconde étude, dans le cas de la conception innovante. Cette étude proposée par France Telecom porte sur la conception de dispositifs de communication. Nous l'exposons en détail dans le chapitre 5.

Chapitre 5.

Application de la méthode à la conception innovante

Cas d'étude France-Telecom

5.1 Contexte

Dans le cadre d'une opération d'anticipation menée à France Télécom R&D, visant à étudier, illustrer et évaluer des services résidentiels innovants, il nous a été demandé de réaliser une étude de design prospectif dans le cadre général de « nouveaux dispositifs intuitifs de communication ».

Cette demande s'inscrit dans la problématique industrielle précédemment exposée, à savoir « Comment concevoir lorsque les connaissances et l'identité des produits connaissent des évolutions déroutantes et nouvelles ? » Et « comment innover quand on ne sait plus ce qu'on doit inventer ? »

Cette activité de prospective a été proposée par le Centre Recherche et Développement SIRP (Services Intégrés Résidentiels et Personnels), partie du laboratoire DIOS (Domestic and Integrated Open Services). L'Entreprise fait appel à l'UTC dans l'optique d'obtenir :

- un regard neuf dans le domaine des télécoms,
- des retours potentiels clients,
- des résultats illustrés permettant d'apporter un plus pour lancer les projets. Des visuels simples, clairs, et forts de sens sont attendus pour communiquer les concepts développés à travers les autres pôles du groupe.

5.2 Éléments du cahier des charges

Il s'agit dans ce projet d'imaginer de nouvelles offres – produits et/ou services – que pourra proposer l'Entreprise à moyen et long terme sur le thème « nouveaux dispositifs intuitifs de communication ». Dans un cadre où se développent les lignes en fibres optiques, les offres convergentes (TV, Internet, téléphonie fixe et mobile), la question se pose de savoir comment nous communiquerons et comment l'opérateur intégré qu'est devenu l'Entreprise pourra fournir ces nouveaux services.

Bien qu'une échéance précise soit difficilement déterminable, le projet se base sur un objectif de services commercialisables dans 5 à 10 ans, impliquant donc a priori peu de contraintes techniques à prendre en compte. Le nouveau dispositif intuitif de communication devra intégrer une dimension multi-sensorielle, et permettre d'exprimer et transmettre des émotions afin de maintenir un lien émotionnel entre plusieurs personnes distantes. Il devra s'intégrer à un système global multi-support ou constituer un système à part entière.

L'Entreprise souhaite que l'élaboration des concepts n'émerge pas seulement des aspects techniques mais de l'expérience d'usage envisagée. Le but est d'inventer la prochaine génération de services télécoms en s'ouvrant aux services à l'habitat, services de contenus, services à la personne.

La cible visée est plutôt grand public et éventuellement les professionnels des TPME (Très Petites et Moyennes Entreprises) dont les membres mêlent souvent besoins de communication personnelle et professionnelle.

5.3 Méthode

5.3.1 Phase d'anticipation et d'exploration des besoins

Nous avons développé une approche associant la recherche créative d'un designer (section 5.3.1.2) à la technique des entretiens individuels auprès d'utilisateurs potentiels (section 5.3.1.3). L'implication de l'utilisateur final à plusieurs effets positifs tels que la qualité de l'information, la diminution du temps de développement et du risque d'échec ainsi qu'une meilleure adéquation entre le produit/service et les besoins/satisfaction des utilisateurs finaux [KUJALA, 2003], [KUJALA, NURKKA et al., 2009].

La figure 55, proposée par [GOTTELAND, 2005], expose les principales méthodes de découverte d'idées nouvelles, faisant appel à quatre sources, les clients, les salariés, la créativité de l'équipe ou le produit. Dans notre cas, nous faisons appel à des méthodes de créativité et méthodes de recherche créative de nouveaux concepts intégrant le client-utilisateur final potentiel.

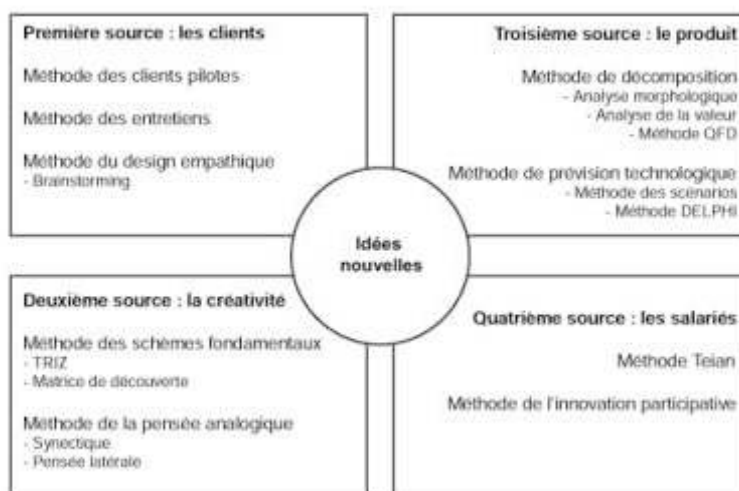


Figure 55. Les principales méthodes de découverte d'idées nouvelles [GOTTELAND, 2005]

Nous détaillons ci-dessous la manière dont nous intégrons l'utilisateur final potentiel dans cette phase de recherche créative large :

Étapes de la recherche créative large :

1. veille technologique,
2. recherche créative de pistes d'innovation (phase de dessin), évaluation des pistes d'innovations par l'équipe projet et la maîtrise d'ouvrage et sélection de pistes prometteuses,

3. approfondissement des pistes jugées prometteuses par une série d'entretiens semi-directifs + confrontation/évolution des maquettes des premières pistes avec des utilisateurs potentiels.

5.3.1.1 Veille technologique

Étant donné le fort recours aux Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans le domaine des télécommunications, l'étude a débuté par une veille des TIC et leur évolution, ainsi que par leur considération du point de vue de l'usage et des opportunités nouvelles en communication interpersonnelle, ce travail est consigné dans un document interne [GUENAND, 2007-2]. Ce croisement technologie/usages constitue un point clé de l'approche, notamment le rapport entre technologie et corps dans la communication médiatisée, nous amenant à distinguer la « perception d'un objet » et la « perception d'autrui ». Ces considérations conduisent à anticiper les technologies qui pourraient être développées et mises en œuvre dans le design de « produits et services innovants pour la communication résidentielle », et les usages futurs de ces produits, à partir de besoins qui sont émergents ou qui ne pas encore exprimés par les futurs utilisateurs.

Nous rappelons qu'à technologie égale, le produit qui offre l'expérience d'usage la plus plaisante, la plus valorisante ou la plus riche sur le plan émotionnel l'emporte.

Nous considérons donc tout nouvelle piste non seulement du point de vue de la technique qu'elle met en œuvre, mais aussi dans la relation de l'objet avec son ou ses utilisateurs et dans son contexte d'usage. En effet, rappelons que les objets transforment l'homme autant qu'il les transforme lui-même.

À l'issue de cette phase de veille, plusieurs pistes répondant à la problématique « imaginer et proposer des produits et des services nouveaux de communication qui soient perçus comme bénéfiques nouveaux par les utilisateurs » ont été proposées et 6 pistes ont été retenues, jugées pertinentes par la maîtrise d'ouvrage et en accord avec la stratégie du groupe.

Par recherche créative nous entendons ici à la fois de la production de concepts (C) et l'augmentation des connaissances (K) qui conduisent à augmenter la diversité et la pertinence des concepts, tel que présenté par Hatchuel dans la théorie C-K (voir le chapitre 2, §2.1.2). Cette théorie de la conception offre un cadre général pour

modéliser les raisonnements de conception dans leur diversité et leur fécondité, en rendant compte des inventions, des surprises, des impasses et permet de générer de manière systématique des concepts innovants de rupture. Le schéma présenté sur la figure 57 décrit le processus de conception de la présente étude, selon le formalisme de cette théorie. Cette approche du processus de conception est particulièrement adaptée pour décrire notre démarche puisqu'elle rend compte des processus par lesquels on peut aboutir à des propositions nouvelles ou à des connaissances nouvelles. Cette théorie repose sur la distinction formelle entre « concept (C) » et « connaissance (K) ».

Le sens qui est donné au mot « concept » désigne une proposition novatrice à partir de laquelle on veut initier une démarche de conception ; il s'agit ici du concept de « *dispositif intuitif de communication* » par exemple. La « connaissance » désigne alors une « proposition ayant un statut logique pour le concepteur ou pour le destinataire de la conception ». Si l'on se réfère à la figure 56, on peut comprendre le système de relation entre concept et connaissances. Ici, le concept initial (premier îlot, colonne de gauche en haut) correspondant à la demande de la maîtrise d'ouvrage conduit à une première recherche et constitution de connaissances portant sur la communication, l'intuitivité, la perception, les technologies disponibles et émergentes (îlots, colonne de droite en haut). Les résultats de la recherche de connaissances conduisent à leur tour à modifier, en le précisant, le concept initial. Le troisième îlot de gauche décrit les pistes d'innovations spécifiques, qui répondent au cadre général mais en le spécifiant, et qui ont émergé de la rencontre entre créativité du designer et connaissances (nouvelles et anciennes) de ce designer. Enfin, les îlots de droite intitulés « *confrontation à des utilisateurs* » correspondent aux différentes étapes de recueil d'informations sous forme d'entretiens orientés vers la verbalisation et la manipulation de maquettes. Ces étapes font l'objet des sections 5.3.1.2 à 5.3.1.3 présentées ci-après.

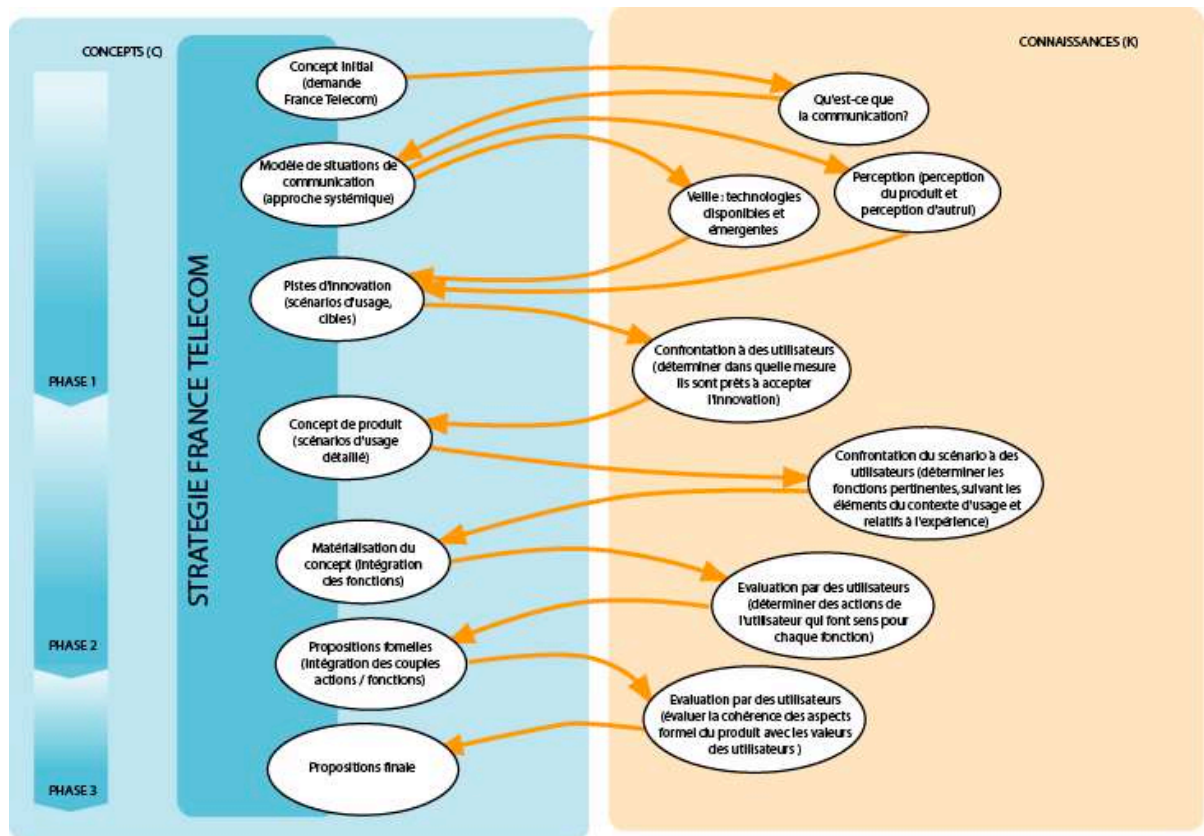


Figure 56. Processus de conception de l'étude France Telecom selon la représentation C-K

5.3.1.2 Recherche créative large par un designer

Le projet présenté dans ce chapitre a mobilisé un designer pendant une durée de 4 mois, à raison de 3 jours par semaine, en relation semi-mensuelle avec la maîtrise d'ouvrage. Ce projet s'intègre dans un ensemble plus large, mobilisant six étudiants designers et ingénieurs-designers en 2^{ème} année de Master de Design Innovation Produits, accompagnés du chef de projet.

La phase de recherche créative de pistes d'innovation sous forme de dessins a été menée pendant une durée de 2 semaines à raison de 3 jours par semaine.

À titre d'exemple, les figures 57, 58 et 59 illustrent trois des vingt quatre pistes d'innovation proposées par un designer lors de cette phase.

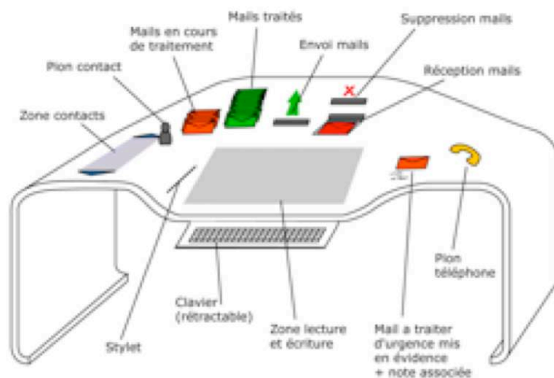


Figure 57. Matérialisation du bureau numérique via une TUI²²

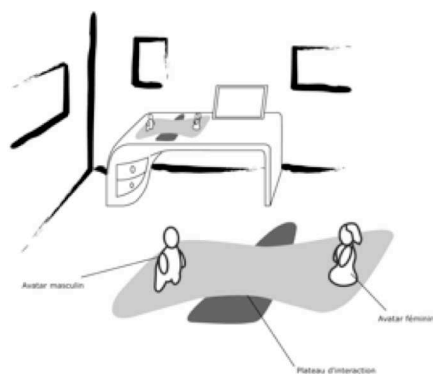


Figure 58. Matérialisation d'un espace numérique partagé via une TUI



Figure 59. Matérialisation des actions de manipulation via une TUI

Constat

L'accessibilité aux moyens de communication pour une certaine tranche de la population est limitée et les TICs manquent d'intuitivité et de tangibilité.

Proposition

Une matérialisation du bureau numérique via des interfaces tangibles.

Constat

Les chats, forums et sites de rencontre n'offrent pas la qualité de rencontre et d'authenticité des rencontres réelles.

Proposition

Une matérialisation d'un espace numérique partagé via une interface tangible

Constat

Le développement des technologies numériques a changé la manière de voir et d'archiver les éléments du monde dans lequel nous vivons.

Proposition

La matérialisation d'un espace d'action dans le monde numérique via une interface tangible, accessible lors de communication.

Nous considérons que les utilisateurs potentiels sont les mieux placés pour évaluer et influencer le développement d'un produit. Si le produit final correspond à leurs

²² Tangible user interface (Interface utilisateur tangible)

besoins, envies et caractéristiques, il aura toutes les chances d'être adopté, et nous avons en tête que cette adoption représente le but ultime de tout produit. Néanmoins, le développement d'un produit innovant guidé par les besoins des utilisateurs et par les possibilités technologiques ne repose pas sur des méthodologies traditionnelles. En effet, dans le cas d'une innovation, les besoins ne sont pas préexistants à l'offre produits, il y a co-émergence des besoins et des dispositifs qui les suscitent.

Aussi, à la différence du processus de développement de produits qui s'appuie sur des expériences ou des enquêtes d'usage de produits existants ou suffisamment diffusés, (évaluation d'un existant), nous nous trouvons pour la seconde fois dans un cas où il est nécessaire de repenser la méthodologie de recueil des besoins de sorte à guider la conception de l'innovation. A la différence du cas d'application de l'appareil musical présenté au chapitre 4, qui a mobilisé 20 étudiants designers pendant une semaine, pour chaque piste d'innovation retenue nous avons fait appel à un petit nombre de designers (6) pendant 4 mois.

Nous avons donc mis en œuvre une approche d'identification des attentes, des besoins, et de la satisfaction de ces besoins dans le cadre de situations artificiellement créées, impliquant des utilisateurs potentiels et des dispositifs « ébauchés » dès l'amont de la conception et de façon itérative. Cette phase est exposée dans la section suivante.

5.3.1.3 Approfondissement des pistes jugées prometteuses

Dans cette étape, les pistes d'innovation ont été explorées en détail par chaque designer à travers la mise en place d'une démarche de design participatif à laquelle ont été associés ces utilisateurs potentiels particuliers. Nous avons fait appel aux méthodes qualitatives de la CEM de Shiba et des Cultural Probes de Gaver. La technique de l'entretien est l'une des méthodes les plus répandues. La formulation des questionnaires est basée sur la technique des questionnaires de Kano [SHIBA, NOYÉ et al., 1996].

Nous avons procédé à une série d'entretiens individuels semi-directifs de sorte à produire des informations en lien avec la problématique soulevée. De plus, notre intention étant d'orienter l'entretien sur la notion d'espace d'interaction et sur l'exploration des modalités d'interactions, nous avons intégré dans le cours de l'entretien la présentation d'un kit de manipulation qui prend la forme de maquettes élémentaires non finies, des « sketch-models » offrant des possibilités d'exploration.

Cette démarche basée sur la manipulation vise à identifier des usages inattendus d'un produit, à découvrir des problèmes que les personnes ne mentionnent pas lors d'enquêtes plus traditionnelles, à déceler des attentes insatisfaites, des motifs d'insatisfaction, des erreurs de manipulation, autant d'éléments qui pourront conduire à la découverte d'idées nouvelles²³.

Par ce moyen, nous identifions à la fois les « innovateurs » et les attentes révélées de ces innovateurs. Les critères utilisés pour décider d'approfondir un entretien avec un innovateur potentiel relèvent à la fois de facteurs de personnalité, de motivation et de compétences des personnes interrogées. Nous constatons que les personnes motivées pour développer de nouveaux usages, et confrontés plus tôt que la majorité des autres consommateurs à de nouvelles attentes sont particulièrement réactives et créatives.

Données d'entrée de la phase d'approfondissement (objectif : co-émergence des concepts et des besoins)

Sélection des participants

Il est important de rappeler les attentes du projet en terme de méthodes d'innovation et en termes de résultats. Nous nous appuyons sur les travaux de [POI07] pour situer la présente étude en regard au type d'innovation visée. Selon la typologie présentée sur la figure 60.

Le projet « *Quels nouveaux dispositifs intuitifs de communication ?* » se situe soit dans la double innovation de rupture, technique et comportementale (carré en haut à gauche), soit dans l'innovation comportementale (zone en haut à droite).

Selon Poignot [POIGNOT, 2007], 90 % des nouveaux produits sont issus du « redesigning et du remarketing ». Il distingue la « novation » et l'innovation. Ce qu'il nomme « la novation » comprend 3 cas impliquant une rupture et une continuité dans l'un ou l'autre des domaines technique et comportemental. Comme indiqué sur la figure 60, le premier est une innovation technique incrémentale sans nouveau comportement induit (zone en bas à droite), le deuxième concerne une innovation de rupture technique avec continuité des comportements (zone en bas à gauche), le

²³ Dans le cas où l'équipe projet n'a pas de ressources créatives immédiates, il est possible de remplacer, lors des entretiens, les kits de manipulation de sketch-models par des story-boards illustrant des archétypes d'utilisateurs (personas) dans des situations de vie actuelles. Les entretiens portent alors sur l'identification des « innovateurs » et des « early adopteurs » et sur leur contribution à l'enrichissement d'un scénario dans lequel ils se projettent. Les résultats sont alors des pistes d'innovation qu'il conviendra de formaliser et de matérialiser sous forme d'un dispositif d'interaction, qui sera soumis à manipulation et verbalisations lors d'une seconde série d'entretiens.

troisième décrit une innovation comportementale mais sans innovation technique de rupture (zone en haut à droite). Seuls 10 % des nouveaux produits proviennent de l'innovation issue de la double rupture technique et comportementale (zone en haut à gauche).

Comportements	nouveau	Innovation de rupture	Innovation comportementale
	ancien	Innovation technique	Innovation incrémentale
		nouvelle	ancienne
		Technologie	

Figure 60. Processus de développement de l'innovation et des nouveaux produits

Par ailleurs, nous prenons appui sur les travaux d'Everett Roger [ROGERS, 1983] pour comprendre la typologie des « adopteurs » des innovations, et situer la population visée par la présente étude. Rogers a développé un modèle descriptif de la diffusion de l'innovation, à la fois social et temporel. Il propose que des « adopteurs » de n'importe quelle innovation ou idée puissent être classés par catégorie, et distingue 5 catégories parmi lesquelles les innovateurs représentent 2,5% de la population, les « early-adopters » 13,5%, la majorité précoce, 34%, la majorité tardive, 34%, et les retardataires représentent 16%. (Courbe en cloche, bleue sur la figure 61). La courbe en S modélise la diffusion de l'innovation (courbe en jaune sur la figure), elle représente le taux d'adoption d'une innovation dans le temps. Cette courbe montre le pourcentage cumulé des « adopteurs », lente au début, plus rapide au fur et à mesure que l'adoption augmente, puis tendant vers une asymptote jusqu'au dernier pourcentage d'adoption des derniers retardataires.

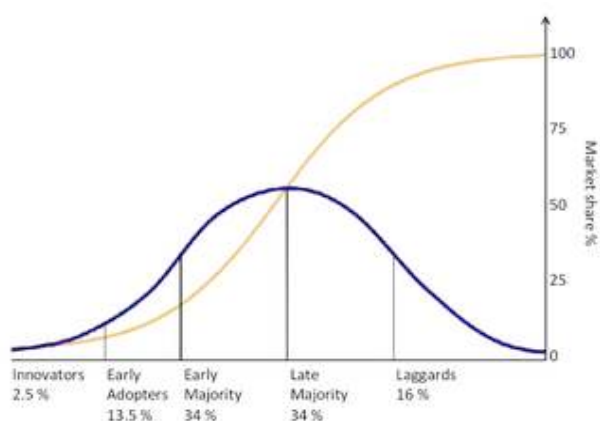


Figure 61. Modèle de diffusion de l'innovation selon Everett Rogers [ROGERS, 1983]

Dans la présente étude, nous tentons d'identifier et de rencontrer une population « d'innovateurs » et/ou « d'early-adopters » qui pourront aider à révéler des besoins nouveaux, diffusables ensuite auprès des majorités précoces et tardives. Le lieu a aussi une importance. Nous l'expliquons ci-dessous.

Sélection du lieu

Une première série d'entretiens a été menée avec 12 personnes, de façon individuelle et dans un lieu favorisant les rencontres. Les lieux choisis ont été la « Brasserie P. » située en plein centre ville de Compiègne et le café « Au B ». Notre choix s'est porté sur ces lieux accueillant un public potentiellement intéressé par des rencontres, les sites sont à la fois ouverts, lumineux, et intimes, offrant des espaces plus isolés permettant de mener les entretiens.

Nous avons mené plusieurs séries d'entretiens, chaque participant(e) potentiel(le) a été abordé(e) en précisant notre intention de soumettre un questionnaire portant une conception innovante de dispositifs de communication. Les personnes intéressées et nous autorisant à noter, filmer et enregistrer les séances, ont été sélectionnées pour les entretiens.

Carnet d'entretiens et questionnaire

Le recueil des informations a été effectué grâce à un carnet d'entretiens dans lequel ont été consignées les fiches d'entretien comportant une grille d'observation, les photos, auxquelles nous avons parfois ajouté des enregistrements sonores. La fiche présente brièvement le projet (constat de départ, problématique, parti-pris, concept proposé – avec croquis). Après présentation de ce dernier, un cahier sert à noter les informations relatives à la personne interrogée (âge, sexe, statut marital, stratégies de rencontres et avis sur le sujet), puis toutes les questions, remarques et suggestions dont elle pourra être à l'origine au cours de l'entretien. Enfin, une grille de notation permet d'apprécier le niveau d'intérêt de la personne respectivement par la description verbale du projet, les croquis et les maquettes. Cette fiche d'entretiens est présentée sur les figures 62 et 63, une vue agrandie de la fiche est présentée sur la figure 64.

La démarche a été menée avec un total de trois itérations, chaque nouvelle série d'entretiens avec des utilisateurs potentiels mettant en jeu de nouvelles maquettes exploratoires dont la présentation et la manipulations ont conduit à des résultats présentés dans la table 7.

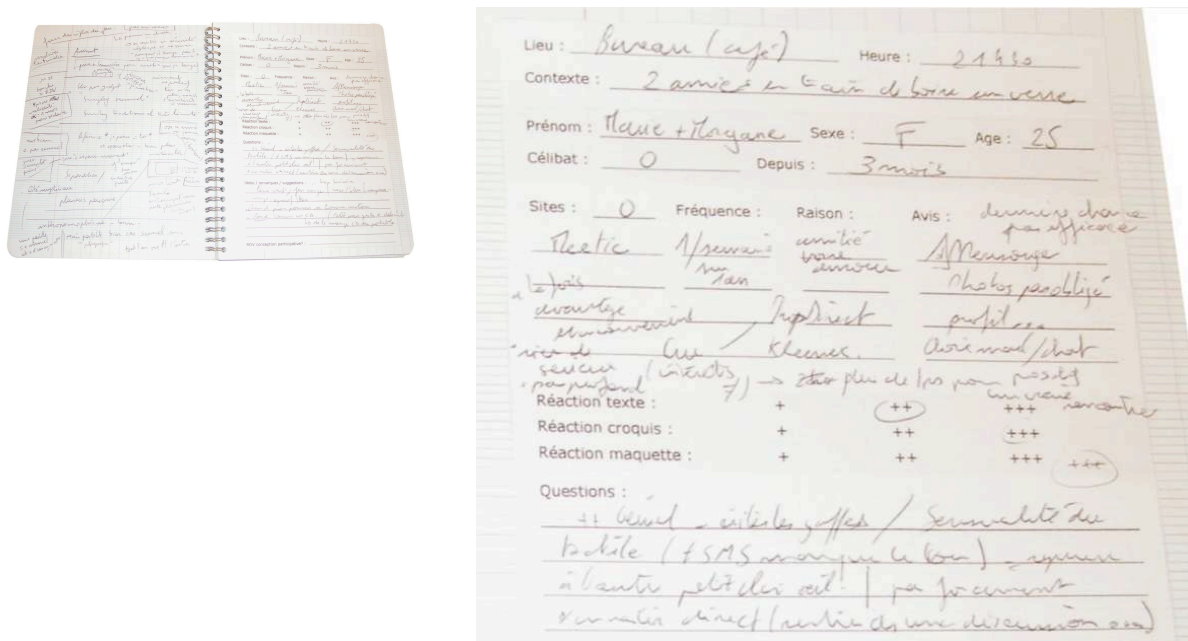


Figure 62. Carnet d'entretiens comportant des annotations libres (à gauche) et la fiche d'entretien (à droite)

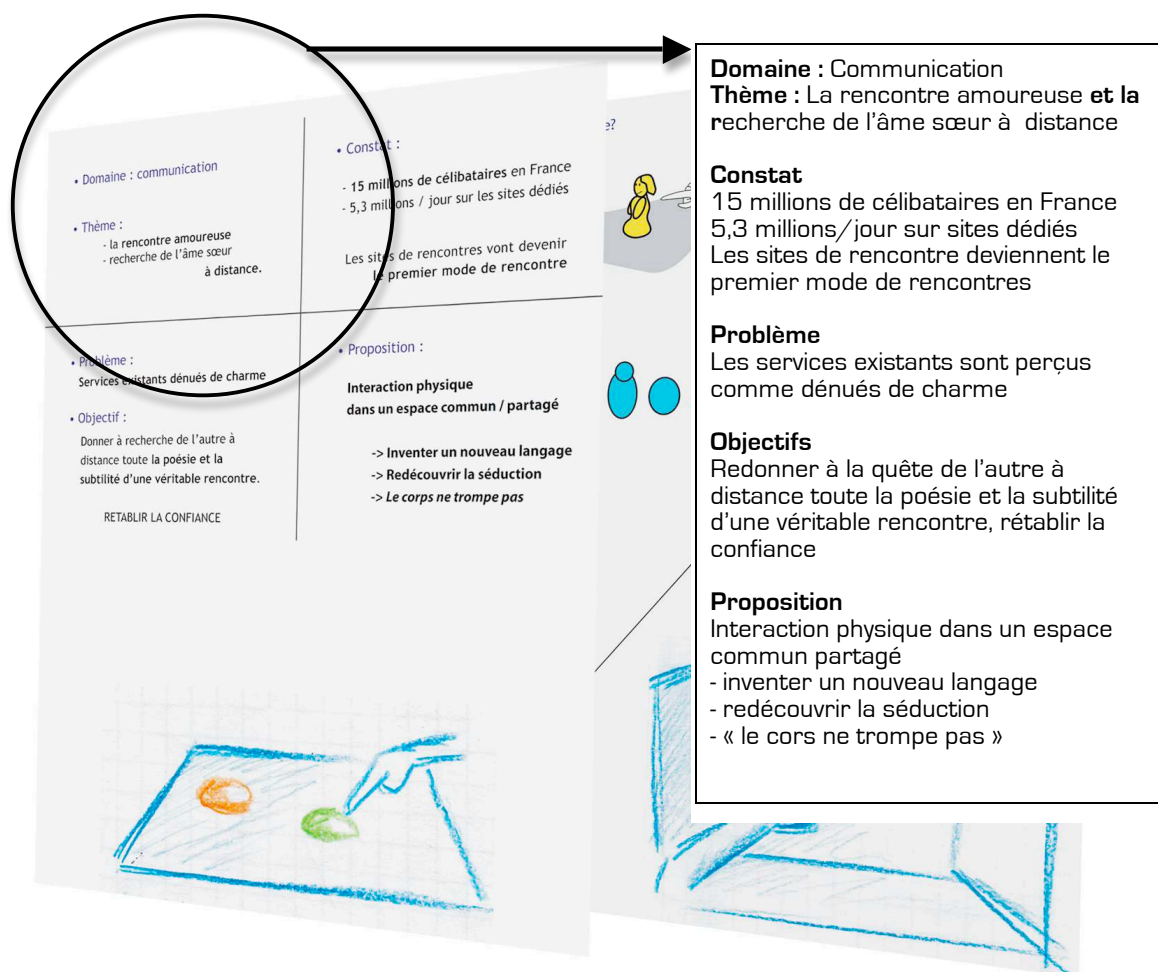


Figure 63. Support textuel servant de guide en début d'entretiens

Lieu : _____		Heure : _____	
Contexte : _____			
Prénom : _____		Sexe : _____	Age : _____
Célibat : _____		Depuis : _____	
Sites : _____	Fréquence : _____	Raison : _____	Avis : _____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
Réaction texte :	+	++	+++
Réaction croquis :	+	++	+++
Réaction maquette :	+	++	+++
Questions :			

Idées / remarques / suggestions :			

RDV conception participative? : _____			

Figure 64. Fiche d'entretien

Les entretiens visant la construction de scénarios à partir de la manipulation de maquettes exploratoires et de verbalisations libres ont abouti à une liste de fonctionnalités attendues par les personnes questionnées. Ces fonctionnalités sont consignées dans la section suivante.

6. Synthèse des 3 séries d'entretiens menés en phase d'exploration large

1 ^{ère} série d'entretiens	Données d'entrée	Données de sortie
  Maquette exploratoire n°1 Séance d'entretiens n°1	<p>Objectifs : Identifier les grands axes des besoins des utilisateurs potentiels</p> <p>Nombre de participants : 12</p> <p>Matériel : Questionnaire + fiche + maquette exploratoire minimaliste (voir ci-contre : un plateau et deux pions)</p> <p>Remarque : la maquette attire et suscite des improvisations. Les utilisateurs simulent le fonctionnement du dispositif, posant des questions, donnant des avis et suggestions très enrichissantes sur celui-ci. Les avis recueillis au cours de cette première série d'entretiens sont intégrés dans le second kit de conception destiné à la deuxième série d'entretiens.</p>	<p>La 1^{ère} série d'entretiens aboutit à une liste de capacités d'actions et de besoins attendus :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ressentir l'autre - Créer ses propres façons de se mouvoir, d'échanger, de partager - Révéler une capacité esthétique de la relation à l'autre non dévoilée jusque là - Mettre en jeu l'implication du corps de l'utilisateur - Permettre une manipulation naturelle - Définir éventuellement des zones d'état, de statut, zones d'échange - Définir éventuellement des avatars, Jouer avec le magnétisme, l'attirance que l'un peut provoquer chez l'autre - Eventuellement définir l'aspect du plateau d'un jeu associé à un site web.
2 ^{ème} série d'entretiens	Données d'entrée	Données de sortie
 Maquette exploratoire n°2 (+ maquette d'avatar n°1)	<p>Objectifs : Décrire et enrichir les scénarios identifiés dans la 1^{ère} série d'entretiens.</p> <p>Nombre de participants : 3</p> <p>Matériel : m</p> <p>Maquette exploratoire (voir ci-contre : un plateau de jeu et deux pions).</p>	<p>La 2^{ème} séries d'entretiens a abouti à une liste de besoins spécifiques liés aux scénarios explorés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plateau multi-zones (de rencontre, de contact, zones « étapes ») - Besoins d'un espace favorisant le contact par la gestuelle tout autant que la délicatesse de la rencontre. - Besoin d'angles pour le repli - Besoin de symboliser l'humeur par une 'aura lumineuse' - Besoin de retranscrire les « phéromones » - Besoin de personnaliser suivant la progression de la relation - Besoin de faire apparaître le regard - Attirer/repousser (magnétisme)

3 ^{ème} série d'entretiens	Données d'entrée	Données de sortie
 <p>Maquette exploratoire n°3 (+maquette d'avatar n°2)</p>   <p>Séances d'entretiens n°3</p>	<p>Objectifs : Décrire et enrichir les scénarios identifiés dans la 2^{ème} série d'entretiens</p> <p>Nombre de participants : 5, et en groupe (7)</p> <p>Matériel : Maquette exploratoire, voir ci-contre : un nouveau plateau de jeu et deux pions, voir ci-dessous les différentes maquettes d'avatars.</p>	<p>Validation des besoins identifiés à l'étape 2 et éléments de complément :</p> <p>Plateau de jeu</p> <p>Un parcours comme espace de rencontre de 2 avatars, besoin d'étapes à franchir, de thème de discussion. Il permettra de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choisir un chemin - réussir des épreuves ensemble - collaborer, s'entraider - franchir des étapes - disposer d'une multitude de parcours différents - jouer et construire ensemble pour mieux se connaître <p>Avatars : Besoin de contrôler certains paramètres tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se grandir, se mettre en avant - Se rendre visible > séduire l'autre, se faire beau - S'entraider, se soutenir - Orienter son regard - Emmener l'autre avec soi, « prendre la main » (l'inciter à suivre) - Pouvoir s'emparer des choses. Offrir une liberté dans la manière de s'emparer des choses (outils, informations...) - Inviter l'autre à explorer, à construire, et voir comment il construit avec moi (Le <i>quoi</i> importe bien moins que le <i>comment</i>) - Résister à l'autre
 <p>Maquette d'avatar n°3</p>	 <p>Maquette d'avatar n°4</p>	<p>Fonctions attendues ::</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orienter son regard - Se grandir/se mettre en avant, avoir une priorité dans l'action par rapport à l'autre - Attirer l'autre, augmenter son pouvoir d'attraction - Se faire beau, <i>changer d'apparence</i>

5.3.2 Fonctionnalités attendues

Suite aux trois séries d'entretiens, il apparaît que :

- la relation authentique dans un espace partagé implique la mise en place d'un jeu mettant en action des avatars manipulables par chaque participant,
- le jeu implique qu'un avatar soit en effet capable de :
 - orienter son regard
 - se grandir, se mettre en avant, « prendre la main » sur les actions (avoir une priorité ou laisser la priorité)
 - attirer l'autre, de l'emmener/d'accepter ou de refuser son magnétisme
 - s'apprêter, modifier son apparence, se faire beau/belle

5.3.3 Identification d'une variabilité inter/intra utilisateurs potentiels

Les entretiens ont permis d'identifier une première variabilité des attentes portant sur la manière d'activer les fonctions, exigeant selon la situation de l'utilisateur potentiel, des actions à effectuer de façon séquentielle ou en parallèle. Certains utilisateurs potentiels attendent la possibilité de manipuler le dispositif d'une seule main et de façon simultanée pour les 4 fonctions, d'autres ne présentent pas cette exigence.

Ainsi, nous considérons que l'accès possible à une simultanéité des actions de contrôle des fonctions pourrait être un facteur important qui structure les préférences des utilisateurs.

La variabilité porte donc sur la nécessité de simultanéité d'action des 4 fonctions attendues.

Le degré de simultanéité est l'unique dimension qui nous paraît sensée pour le produit considéré, nous proposons de créer une nouvelle fonction « variabilité du degré de simultanéité » pour laquelle tous les utilisateurs seront satisfaits par les deux extrêmes.

- degré de simultanéité faible pour une partie des utilisateurs
- degré de simultanéité fort pour une autre partie.

5.3.4 Intégration d'une fonction « variabilité de la simultanété » dans le cahier des charges

Ces résultats nous amènent à formuler l'hypothèse suivante : si les deux états qui distinguent les attentes d'utilisateurs potentiels peuvent être pris comme deux pôles d'un critère de variabilité, alors nous pouvons intégrer ce critère de la variabilité dans la conception du produit.

Ainsi, l'objectif est de garantir les performances du produit, quelles que soient les attentes des utilisateurs potentiels. Dans ce cas-ci, nous pourrions garantir que les attentes d'un utilisateur potentiel qui préférerait un produit qui présente soit l'indépendance d'action, soit la simultanété, ou tous les grades intermédiaires, seraient satisfaites tout autant que celle d'un utilisateur potentiel qui ne les attend pas.

Proposition résultante

Nous proposons d'intégrer la fonction « variabilité de la simultanété ». La maquette formelle présentée sur la figure 65 est un dispositif de type souris orientable (commande d'un vecteur au lieu d'un pointeur pour satisfaire la fonction attendue « orienter son regard ») offrant trois fonctions nouvelles et deux modes d'interaction pour l'utilisateur, prenant en compte ses besoins de contrôler simultanément ou pas, l'état de son avatar.

Le mode « simultané » permet à l'utilisateur expert de manipuler avec précision et rapidement l'état d'humeur de son avatar tout en le faisant évoluer dans l'espace commun. Le mode « indépendant » propose à l'utilisateur d'agir indépendamment sur chaque fonction, à partir des modalités d'action qui sont visibles et accessibles indépendamment.

Nous intégrons cette variabilité dans la conception du dispositif de la façon suivante : les modalités d'actions contrôlant les fonctions sont réparties localement et visiblement dans la structure du produit. Les paramètres liés à chaque modalité sont constitués de telle sorte qu'ils sont a priori en position « haute », c'est à dire que le dispositif nécessite simplement d'être saisi pour que, par le poids de la main au repos, les fonctions soient en situation de contrôle (exemple : grandir > a priori la taille est maximale au démarrage, l'appui volontaire de sa main pourra réduire la taille). Si l'utilisateur souhaite modifier son avatar, il peut agir de façon simultanée en maintenant une pression sur le corps du dispositif, en maintenant aussi les deux

aillettes de transformation de son magnétisme, tout en modifiant sa couleur ou sa trajectoire. Il peut bien sûr effectuer ces actions de façon indépendante et successive.

Ces résultats ont permis de constituer le cahier des charges fonctionnel de conception. Les possibilités d'actions via la maquette fonctionnelle sont présentées sur la figure 66 [GRARD and GUENAND, 2008]. Trois zones sont ainsi définies :

- La zone A, constituée de la totalité de surface de la coque supérieure, est mobile en rotation et s'élève ou s'abaisse selon la pression effectuée sur l'avant de la coque par rapport à l'axe de rotation situé à l'arrière de la coque. La zone A actionne la fonction « modifier sa taille ».
- Les zones B et B', constituée de deux ailettes en translation sur la coque A, actionnent la fonction « modifier son magnétisme ».
- La zone C, définie par l'arête centrale constituée d'une surface tactile capacitive, permet d'actionner la fonction « modifier sa couleur ».

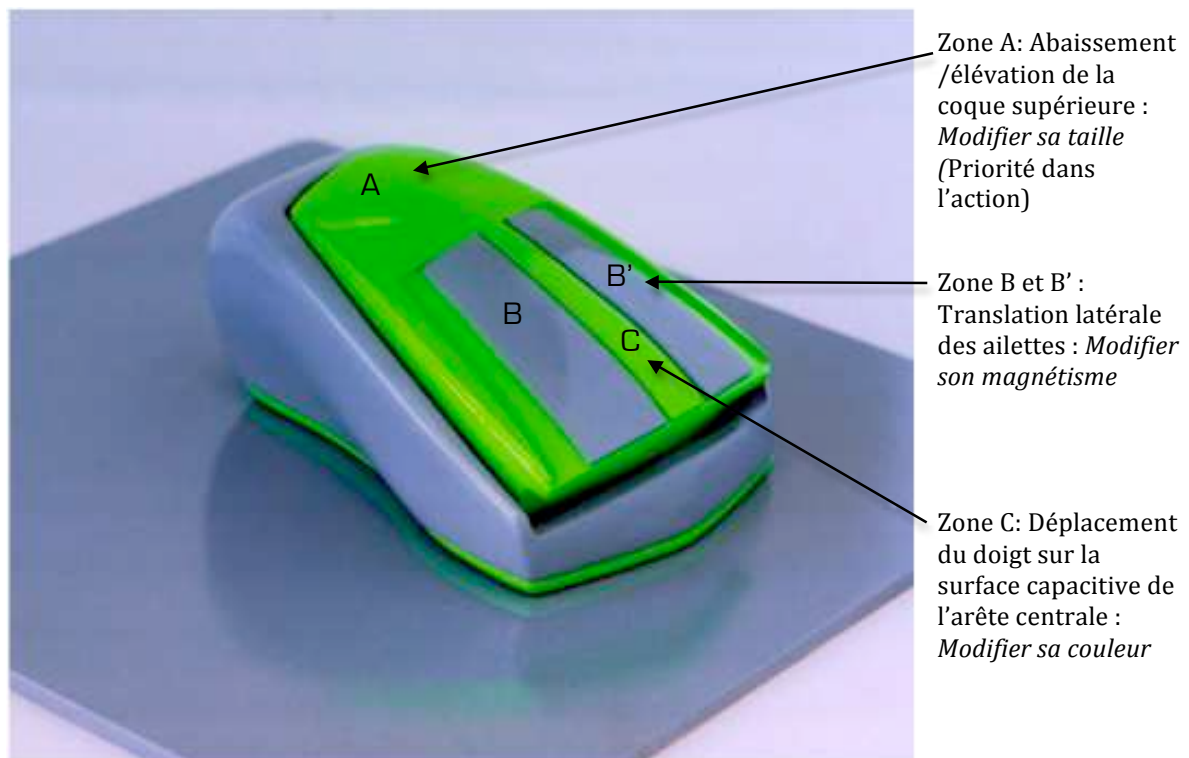


Figure 65. Photo de la maquette du dispositif de rencontre authentique dans un espace numérique partagé

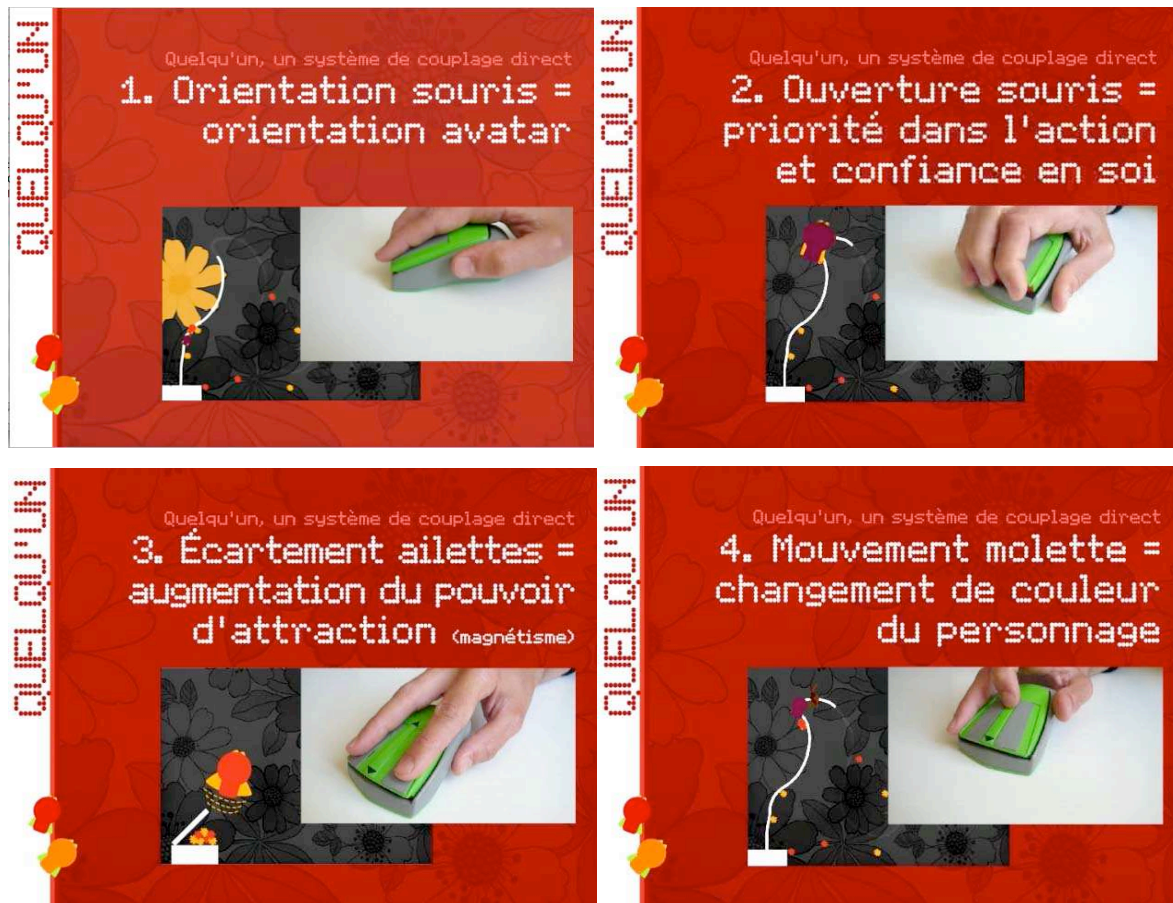


Figure 66. Photos du dispositif de contrôle des avatars pour les 4 fonctions attendues

5.3.5 Limites de l'approche qualitative

La série d'entretiens a produit une qualité d'informations relatives aux fonctionnalités attendues et a permis d'établir un cahier des charges de fonctionnalités innovantes et singulières pouvant conduire à offrir de nouvelles expériences de rencontre dans un espace numérique. Les attentes de la maîtrise d'ouvrage en termes de résultats qualitatifs sont satisfaites. Néanmoins répondre au cahier des charges est une condition nécessaire mais pas suffisante pour satisfaire les attentes des clients, qui, au delà de la qualité perçue - sémantique et sensorielle -, attendent du produit qu'il rende possible une expérience particulière dans l'usage du produit. À ce stade, nous pouvons garantir que l'objet répond à des attentes en terme d'usage (orientation de design) pour la population considérée (clients finaux) mais nous ne pouvons garantir la robustesse du concept proposé quelle que soit la variabilité des préférences au sein de cette population cible, c'est à dire garantir que les performances du dispositif seront assurées quelle que soit la variabilité liée aux préférences des utilisateurs potentiels.

Nous nous proposons de comprendre quels sont les facteurs qui structurent les préférences.

En effet, nous observons ici une des limites de l'approche qualitative de co-conception avec les utilisateurs, qui offre l'avantage d'orienter finement et de permettre d'affiner des couplages de fonctions et d'actions par les itérations successives auxquelles sont associés les utilisateurs potentiels, mais qui présente aussi l'inconvénient lié à la taille de l'échantillon de sujets impliqués dans les expérimentations. Une solution pourrait être d'augmenter le nombre d'entretiens avec des utilisateurs potentiels et d'augmenter le nombre de maquettes à manipuler, cette solution serait très coûteuse en terme de temps et de ressources.

5.3.6 Approche de conception intégrant la variabilité des préférences clients

Nous proposons une approche en trois volets, similaire à l'approche développée pour le dispositif musical (chapitre 4) :

1. Exploration large des possibles, par des designers, sollicitation ponctuelle d'un assez grand nombre de designers, avec cahier des charges issu de l'étape des entretiens. Le résultat est un ensemble de propositions de concept-produits,
2. Analyse sensorielle
 - a. Tests de préférences auprès d'un panel d'utilisateurs potentiels, identification des groupes de préférences,
 - b. Analyse descriptive des concept-produits par deux experts en design et étude des corrélations entre préférences et attributs physiques, de sorte à comprendre les facteurs qui structurent les préférences,
3. Identification des « variabilités » à partir des facteurs de préférences, conception robuste intégrant ces nouvelles fonctions.

5.3.7 Phase 1 : Exploration large des possibles par les designers

Le dispositif permet en effet de satisfaire les attentes fonctionnelles exprimées lors des entretiens, mais nous ne pouvons pas à ce stade garantir que les performances du produit ne seront pas altérées par la variabilité des préférences inter et intra-utilisateurs. Il nous faut pour cela identifier les préférences, les qualifier et les quantifier.

Données d'entrée

Nous proposons de soumettre ce cahier des charges à une nouvelle équipe de conception, composée de deux designers, d'une ergonome et d'une classe d'étudiants en 3^{ème} année de cycle ingénieur-designer, dans le cadre du cours d'Analyse des produits de consommation, de sorte à produire une quantité de dessins riche et variée.

Consigne : « Inventer un dispositif permettant de contrôler son avatar dans un espace numérique ». Les fonctions du dispositif sont :

- orienter son regard
- se grandir, se mettre en avant, « prendre la main » sur les actions (avoir une priorité ou laisser la priorité)
- attirer l'autre, l'emmener/accepter ou refuser son magnétisme
- s'apprêter, modifier son apparence, se faire beau/belle

Durée de la tâche : 2 séances de 3 heures

Données de sortie

Les propositions individuelles des designers et des étudiants ont été rassemblées et 14 concept-produits ont été sélectionnés et repris graphiquement par le même designer pour garantir la même qualité de trait. Plusieurs dessins « doublons » n'ont pas été sélectionnés pour l'étude.

Les propositions de concept-produits ont été représentées sous la forme de dessins commentés précisant les modalités de contrôle des fonctions. Un exemple de fiche explicative d'un concept est présentée sur la figure 67. Les 14 concepts produits sont représentés sur la figure 68 (dessins des tests V. Berdillon).

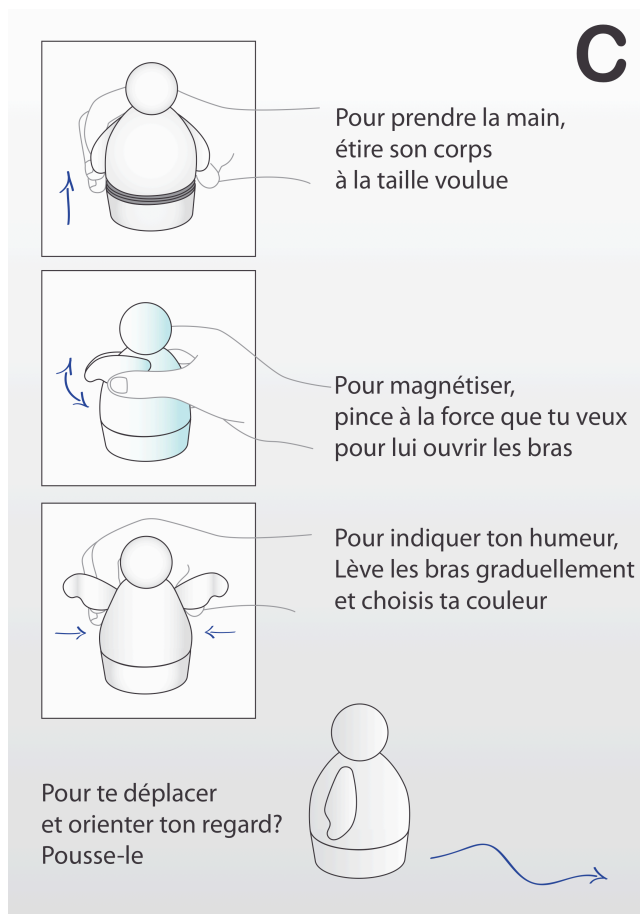


Figure 67. Exemple de dessin du dispositif de contrôle des avatars pour les 4 fonctions attendues

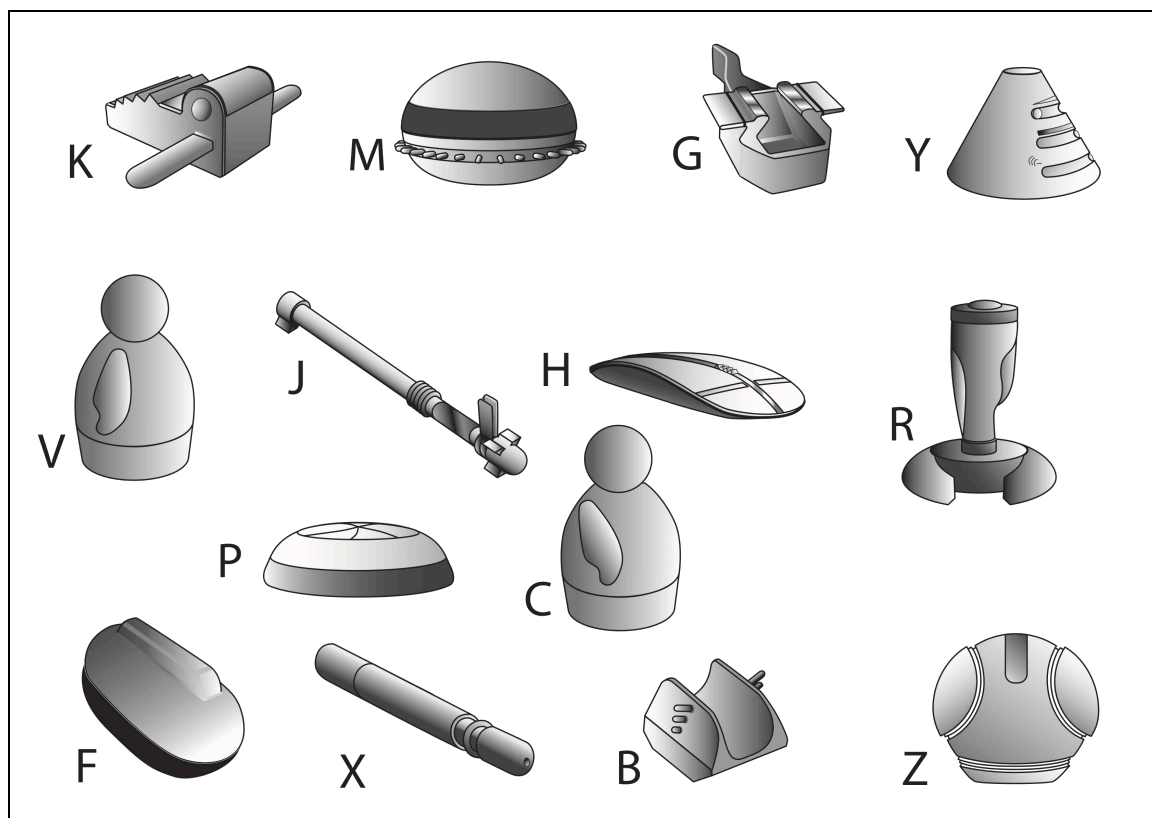


Figure 68. Sélection des 14 dessins retenus pour l'étude des préférences

5.3.8 Phase 2 : Évaluation des préférences par des utilisateurs, démarche d'analyse sensorielle

Cette section présente les conditions expérimentales dans lesquelles se sont déroulés les tests de préférences et le test expert et décrit les étapes qui nous permettent d'identifier les différences majeures entre les groupes de préférences.

5.3.8.1 Phase 2.1 : Test de préférences

De la même façon que dans le cas du dispositif musical, nous mobilisons l'espace produits dans l'objectif d'identifier les caractéristiques distinctives des groupes de préférences, et non de trouver le champ de solutions à l'intérieur de l'espace produits. Autrement dit, nous mobilisons l'espace produits comme terrain permettant de révéler la variabilité liée aux attentes subjectives des groupes de préférences.

Données d'entrée de la phase 2.1

Les 14 dessins ont été présentés à 160 personnes, ils ont été référencés par des consonnes. Ils ont été présentés en plusieurs occasions, lors d'un cours portant sur la Qualité (FQ01), lors d'un cours portant sur l'Analyse Fonctionnelle (DI05), lors d'un cours portant sur l'Analyse de la qualité perçue des produits de consommation (DI06), par un questionnaire en ligne sur internet (voir figure 69, http://www.utc.fr/~guenand/test_de_preference/test.php) et lors de diverses occasions individuelles. Chaque interface est présentée sous la forme d'un dessin en perspective, de plusieurs vues ainsi que d'un descriptif des fonctions et des modalités de contrôle de ces fonctions. Le test en ligne présente une vue en perspective et un descriptif complet du fonctionnement de chaque concept.

Aidez nous à développer une nouvelle interface de contrôle de votre avatar pour un contact réel et authentique en ligne

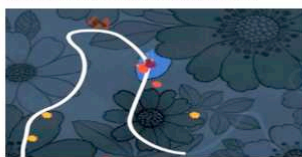
Pour cela, classez les 14 dessins par ordre de préférence (1 = votre interface préférée, 14 = celle que vous aimez le moins). Une zone de commentaires est laissée libre pour recueillir votre avis sur chacune d'entre elles (ce qui vous plaît ou vous déplaît).

Pensez à valider en bas de page !

Chaque une de ces interfaces permet de :

- Déplacer votre avatar dans le parcours 2D
- Lui faire changer de couleur pour indiquer votre humeur
- Lui faire émettre des ondes magnétiques pour attirer l'avatar de l'autre
- Avoir un retour sensoriel sous forme de vibrations lorsque vos deux avatars se rencontrent

Etes-vous prêt(e) à dialoguer pour évoluer à deux dans l'aventure, à jouer, à vous retrouver dans le noir grâce aux retours sensoriels ?



Si vous êtes prêt(e) à nous aider, veuillez remplir le questionnaire ci-dessous.

Avez-vous vu ?

- certains objets sont petits, se tiennent au bout du doigt,
- d'autres épousent la main, ou encore se dressent et se manipulent comme un joystick
- certains objets se transforment, bougent, grandissent, s'ouvrent
- d'autres se laissent manipuler en caresses et glissements
- certains permettent de faire plusieurs actions simultanément, d'autres pas
- certains vous plairont, et d'autres pas

à vous d'exprimer maintenant vos préférences !
Merci d'avance de votre participation.

Votre âge:

Etes-vous ? ☐ un homme ☐ une femme

Votre profession:

Etes-vous intéressé(e) par une rencontre authentique en ligne? ☐ Oui ☐ Non

Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note	Note
<p>Placer le dispositif glisser l'interface, l'abaisser enlever l'index et le majeur</p> <p>Pour pousser l'interface, faire passer l'index plus ou moins fort</p> <p>Pour appuyer sur l'interface, glisser ton doigt sur la bande tactile</p> <p>Pour glisser l'interface pompe plus ou moins vite</p>	<p>Pour le maintenir pousser l'interface à glisse-main</p> <p>Pour pousser l'interface, étirer la taffre voulue</p> <p>Pour indiquer son intention carrener la paume ou moins longue/rapide</p> <p>Pour glisser l'interface appui plus ou moins en ventree</p>	<p>Pour le déplacer déplacer l'interface à trois doigts, le majeur en bas</p> <p>Pour pousser l'interface écarter les doigts sur les ailes latérales</p> <p>Pour effectuer ton intention pincer ton doigt sur la zone tactile horizontale</p> <p>Pour glisser l'interface gratter un nombre plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer pincer l'interface comme un stylo</p> <p>Pour pousser l'interface entourer le bouton entièrement</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser ton doigt sur le contour de la taffre</p> <p>Pour glisser l'interface serrer le manche plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer pousser l'interface à trois doigts sur un plan</p> <p>Pour pousser l'interface ouvrir l'écran en poussant l'axe</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser ton doigt sur le surface tactile</p> <p>Pour glisser l'interface gratter plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer pousser l'interface à glisse-main</p> <p>Pour pousser l'interface relâcher la pression verticale à taffre voulue</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser ton doigt sur le surface tactile horizontale</p> <p>Pour glisser l'interface relâcher plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer déplacer l'interface, le repiquer cliquer à l'intérieur</p> <p>Pour pousser l'interface maintenir l'interface les index latéraux</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser ton doigt sur le fond tactile</p> <p>Pour glisser l'interface agiter plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer pousser l'interface à glisse-main</p> <p>Pour pousser l'interface entre la taffre voulue</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser les doigts sur le contours tactile</p> <p>Pour glisser l'interface ouvrir plus ou moins vite</p>	<p>Pour le maintenir pousser l'interface à glisse-main</p> <p>Pour pousser l'interface étirer la taffre voulue</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser ton doigt sur le contours tactile</p> <p>Pour glisser l'interface pincer pour lui accuser les doigts</p>	<p>Pour le déplacer pousser l'interface en glissant ton pouce/main</p> <p>Pour pousser l'interface faire coulisser l'axe</p> <p>Pour effectuer ton intention chauffer le pointeur en main</p> <p>Pour glisser l'interface tordre plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer pousser l'interface à glisse-main</p> <p>Pour pousser l'interface déplacer plus ou moins vite</p> <p>Pour effectuer ton intention déplacer le curseur le long de la taffre</p> <p>Pour glisser l'interface déplacer plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer pousser l'interface, le basculer de l'index/cliquet</p> <p>Pour pousser l'interface frotteuse sur le plan incliné</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser ton doigt sur la bande tactile</p> <p>Pour glisser l'interface agiter plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer pousser l'interface à glisse-main</p> <p>Pour pousser l'interface étirer la taffre voulue</p> <p>Pour effectuer ton intention faire pousser le module</p> <p>Pour glisser l'interface effleurer un nombre plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer déplacer l'interface comme un stylo</p> <p>Pour pousser l'interface écarter les doigts sur les bandes tactiles latérales</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser ton doigt sur la bande tactile horizontale</p> <p>Pour glisser l'interface gratter les bandes plus ou moins vite</p>	<p>Pour le déplacer déplacer l'interface à glisse-main</p> <p>Pour pousser l'interface écarter les doigts sur les bandes tactiles latérales</p> <p>Pour effectuer ton intention glisser ton doigt sur la bande tactile horizontale</p> <p>Pour glisser l'interface gratter les bandes plus ou moins vite</p>	

Figure 69. Page du test de préférences en ligne

Les 160 réponses ont pu être exploitées. Les résultats des tests de préférences ont été saisis dans un tableur et ont pu être analysés avec des outils d'analyse statistique. Le tableau de résultats, présenté sur la figure 70, rassemble les 14 dessins repérés par les consonnes (F, V, K, R, ...), et les répondants par les chiffres de 1 à 160 (E1, E2, ..., E160). Les résultats sont saisis par ordre inverse au rang de classement.

Comme dans le chapitre 4, nous précisons que pour traiter les données nous considérons les données de rang comme des données quantitatives, bien que nous sachions la limite de cette hypothèse (le rang n d'un sujet i n'a pas la même valeur que le rang n du sujet j).

Ce tableau, matrice des données se compose de :

- lignes d'individus : les sujets répondants (1 à 160)
- colonnes de variables : les 14 produits.

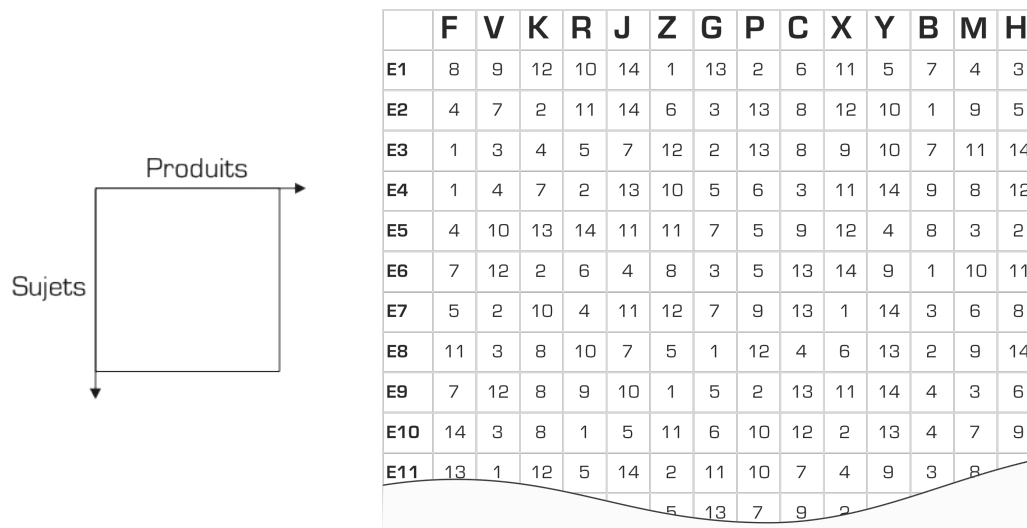


Figure 70. Forme et matrice (partielle) de résultats du test de préférences

Données de sortie de l'épreuve

Notre objectif est de segmenter la population interrogée en sous-ensembles dont les éléments réagissent de façon similaire aux produits, dans le cas présent il s'agit d'identifier les groupes de préférences. À partir des résultats consignés dans le tableau présenté sur la figure 70, nous réalisons une classification ascendante hiérarchique. Les résultats sont présentés ci-dessous.

Classification Ascendante Hiérarchique

L'approche est présentée en détails dans le chapitre 4, nous traitons les données selon le même protocole. Les items ou observations sont les 14 dessins et les variables les réponses des 160 sujets interrogés. La distance utilisée est la distance euclidienne et la méthode d'agrégation est la méthode de Ward.

Nous regardons le diagramme des niveaux de nœuds, la forme de ce diagramme donne une indication sur la structure des données : quand un saut important est observé, signifiant que la dissimilarité est forte entre deux regroupements, nous avons atteint un niveau où nous pouvons considérer que la constitution de groupes est suffisamment homogène et arrêter l'agrégation des données. La partition automatique emploie ce critère pour décider comment créer une partition à partir de la hiérarchie. Nous procédons en premier lieu à une partition automatique, le résultat est une segmentation en deux sous-populations, comme indiqué sur la figure 71.

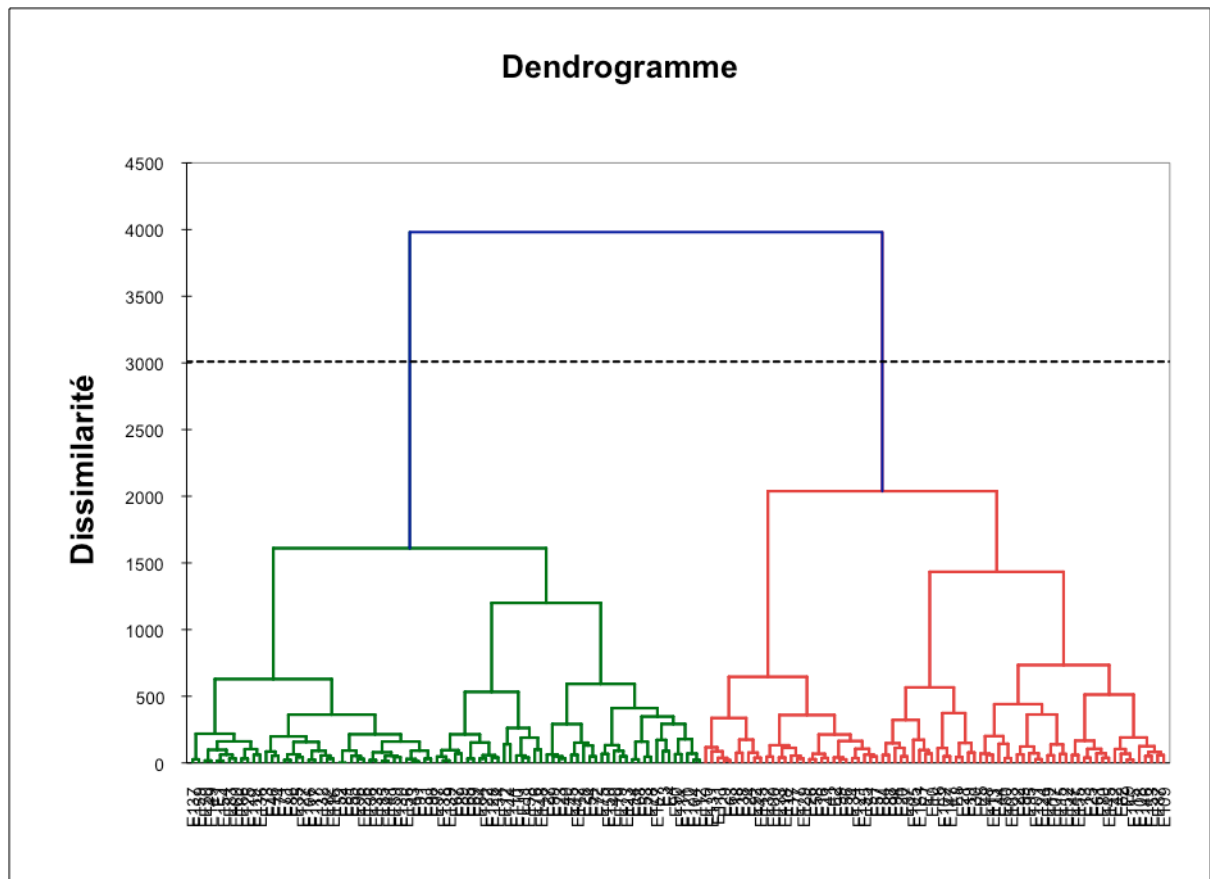


Figure 71. Dendrogramme des 160 répondants, en regard à leurs préférences

Une fois les groupes de sujets identifiés, il nous importe de décrire les données contenues dans la matrice sujets/produits et de visualiser les données dans l'espace et de repérer les variables qui sont les plus corrélées entre elles.

Pour cela, nous réalisons une analyse en composante principale de cette matrice en considérant trois variables supplémentaires, la moyenne de notes des sujets du groupe 1 (MG1), la moyenne des notes des sujets du groupe 2 (MG2) et la moyenne globale (Mglobale). Le résultat est présenté sur la figure 72. Cette figure représente l'ACP effectuée sur la matrice des données de préférences, appelée cartographie interne des préférences. Le groupe de préférences G1, représenté par le vecteur MG1, contribue fortement à l'axe F1. Le groupe de préférences G2, représenté par le vecteur MG2, contribue fortement à l'axe F2. Concernant le plan des produits, la figure 73 indique la position des produits sur les axes de la projection F1-F2. Nous pouvons noter la contribution importante des produits X et J d'une part et de Z d'autre part à l'axe F1, et de Y et R d'une part et B, K et G d'autre part à l'axe F2.

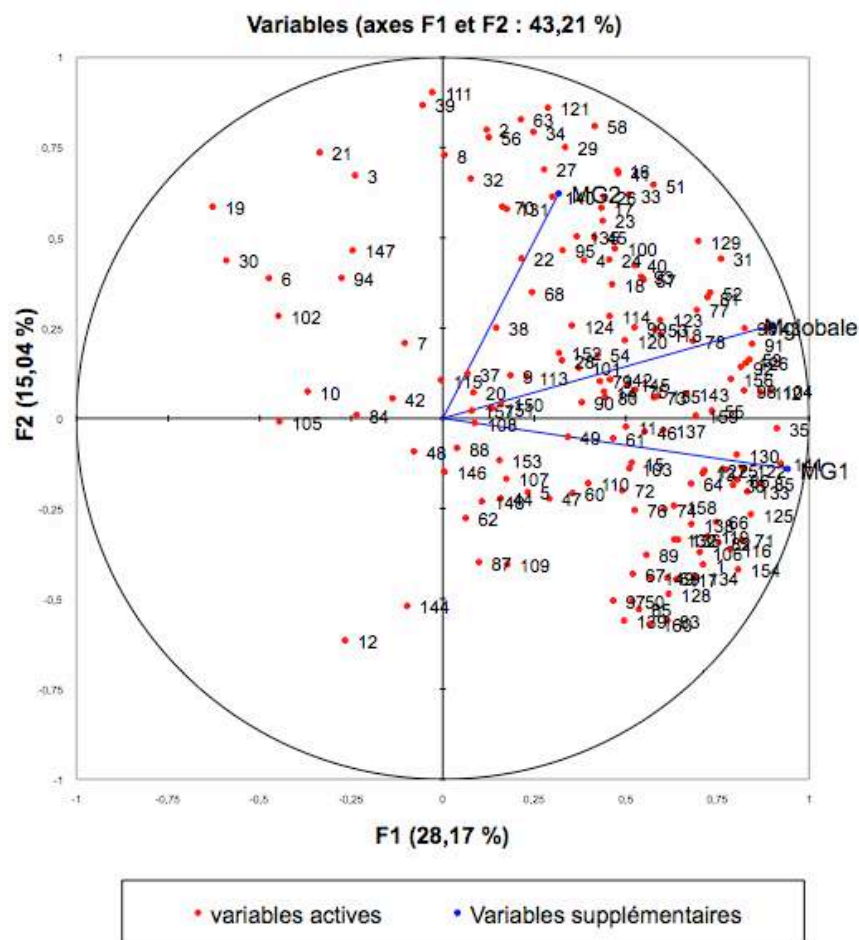


Figure 72. Cartographie interne des préférences des deux premiers facteurs (F1-F2) pour les 160 répondants

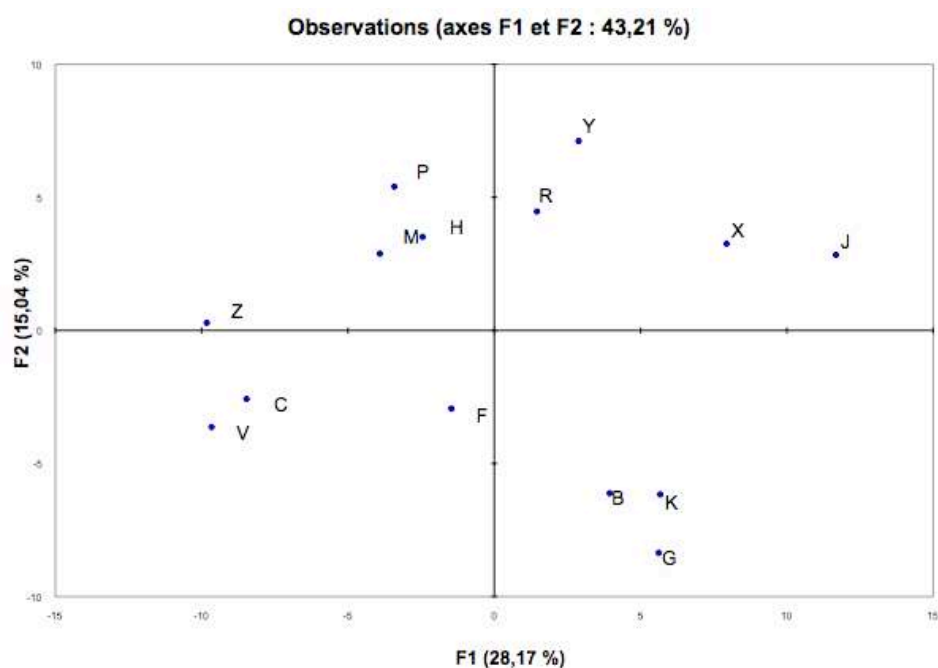


Figure 73. Position des 14 produits sur les axes de la projection F1-F2 pour les 160 répondants

Ces résultats sont à considérer très prudemment et de façon complémentaire à la CAH sachant que seulement 43,21% de l'information y est représentée (plan F1-F2). La cartographie interne des préférences confirme les résultats obtenus par la CAH, nous pouvons noter la forte contribution du groupe 1 (MG1) à l'axe F1, et la forte contribution du groupe 2 (MG2) à l'axe F2.

Regardons les profils moyens de préférences de chacun des deux groupes comme indiqué sur le graphique 74, réalisé à partir des barycentres des deux classes (table 7).

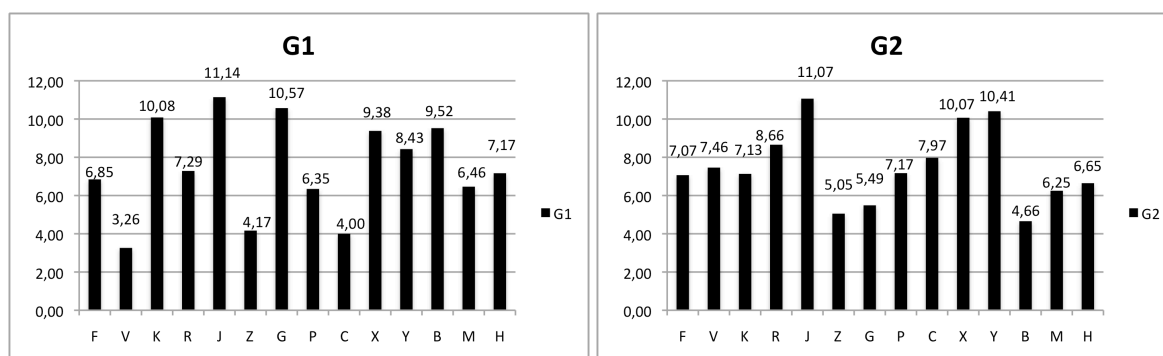


Figure 74. Profils moyens des groupes de préférences G1 (à gauche), G2 (à droite)

7. Barycentres des classes (2 classes)

Classe	F	V	K	R	J	Z	G	P	C	X	Y	B	M	H
G1	6,845	3,262	10,083	7,286	11,143	4,167	10,571	6,345	4,000	9,381	8,429	9,524	6,464	7,167
G2	7,066	7,461	7,132	8,658	11,066	5,053	5,487	7,171	7,974	10,066	10,408	4,658	6,250	6,645

Pour identifier les produits les plus typiques de chaque groupe de préférences, nous procédons au calcul de la valeur test. Les résultats des valeurs tests des groupes G1 et G2 sont exposés dans la table 8.

8. Valeurs tests des deux groupes de préférences

Classe	F	V	K	R	J	Z	G	P	C	X	Y	B	M	H	s ²
G1	6,85	3,26	10,08	7,29	11,14	4,17	10,57	6,35	4,00	9,38	8,43	9,52	6,46	7,17	4,1
G2	7,07	7,46	7,13	8,66	11,07	5,05	5,49	7,17	7,97	10,07	10,41	4,66	6,25	6,65	2,3
Mglobale	6,956	5,362	8,608	7,972	11,105	4,610	8,029	6,758	5,987	9,724	9,419	7,091	6,357	6,906	
U _{MG1}	0,027	0,505	0,355	0,165	0,009	0,107	0,611	0,099	0,478	-0,082	0,238	0,585	0,026	0,063	
U _{MG2}	0,048	0,909	0,639	0,297	-0,017	0,192	1,101	0,179	0,860	0,148	0,428	1,053	0,046	0,113	

Le critère retenu pour identifier les caractéristiques d'un groupe est la valeur absolue de la valeur test, on obtient ainsi les variables les plus typiques du groupe en sélectionnant les valeurs absolues les plus importantes des valeurs tests du groupe (figure 75).

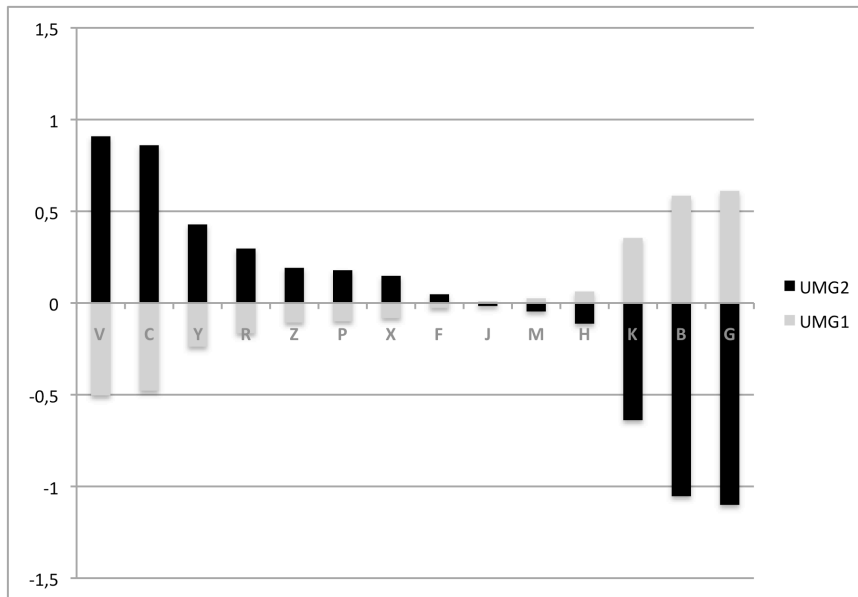


Figure 75. Valeurs tests des groupes de préférences G1 (en gris), G2 (en noir)

Ainsi pour le groupe G1, au delà de la préférence la plus grande pour le produit J (préférence commune aux deux groupes), les produits préférés les plus typiques sont G (U=0,611), B (U=0,585) et K (U=0,355), les produits typiques les moins appréciés, V (U=-0,505) et C (U=-0,478). Pour le groupe G2, les produits préférés les plus typiques sont V (U=0,909), C (U=0,860) et Y (U=0,428), les produits typiques les moins appréciés, G (U=-1,101), B (U=-1,053) et K (U=-0,639). Nous choisissons d'arrêter la sélection pour les valeurs tests dont la valeur absolue est supérieure à la valeur test moyenne U_{moyenne} (en valeur absolue).

Pour le groupe G1, les valeurs considérées sont :

Classe	F	V	K	R	J	Z	G	P	C	X	Y	B	M	H
U_{MG1}	-0,027	-0,5	0,36	-0,2	0,009	-0,11	0,61	-0,1	-0,5	-0,08	-0,24	0,59	0,026	0,063
$U_{\text{moyenne G1} > 0}$	0,22													
$U_{\text{moyenne G1} < 0}$	-0,23													

Pour le groupe G2 :

Classe	F	V	K	R	J	Z	G	P	C	X	Y	B	M	H
U_{MG2}	0,048	0,909	-0,64	0,297	-0,02	0,192	-1,10	0,179	0,860	0,148	0,428	-1,05	-0,05	-0,11
$U_{\text{moyenne G2} > 0}$	0,383													
$U_{\text{moyenne G2} < 0}$	-0,49													

5.3.8.2 Phase 2.2 : Étape descriptive, caractérisation physique

Dans cette étape, les produits sont décrits et caractérisés par deux experts en design, cette description repose sur leurs compétences en analyse de forme²⁴ et de modalités.

Données d'entrée de la phase 2.2

Le cahier des charges étant identique pour l'ensemble des contributeurs, nous procédons à une expertise des dessins des produits pour déterminer les attributs les plus caractéristiques de chaque dessin. La description est complètement ouverte a priori, nous sommes conscients de la difficulté méthodologique pour réaliser cette analyse car les dessins peuvent ne pas être décrits par les mêmes attributs. La caractérisation de l'espace produits a été conduite par les experts en design qui ont évalué conjointement les dessins pendant deux séances d'analyse de 2 heures. Les dessins accompagnés de leurs commentaires ont été fournis aux experts.

Consigne

Il est demandé à chaque expert, à partir de l'espace produits présenté sous forme de cartes (14 cartes de 10 cm x 10 cm), de décrire les caractéristiques formelles et manipulatoires de chaque produit. Il est demandé d'établir pour chaque produit une liste des attributs décrivant le produit selon des critères qu'il leur conviendra d'explicitier.

Données de sortie de la phase 2.2















La table 9 rassemble les caractéristiques des produits évalués par les experts, les attributs sont classés en 5 catégories : 1. Forme , volume, connotations, 2. Structure, 3. Actions, 4. Contraintes, 5. Bénéfices

La catégorie « forme, volume, connotations » regroupe les informations liées à la forme extérieure et à son esthétique. La catégorie « structure » présente les caractéristiques organisationnelles des composants (assemblage visible, intégré, lisse, compact), la catégorie « actions » rapporte les commentaires fournis par les experts concernant la manipulation, la catégorie « contraintes » présente les spécifications d'usage, les conséquences pragmatiques directes de la syntactique de la forme, enfin, la catégorie

²⁴ Au sens de relations structurelles et pas seulement enveloppe formelle (théorie de la Gestalt)

« bénéfiques » rassemble les informations d'usage, les avantages du produit par rapport à un autre vis à vis de l'usage.

9. Tableau récapitulatif de la caractérisation des 14 produits par les experts

	forme, volume, connotations	structure	actions	contraintes	bénéfices
	K forme complexe, petit volume, connotation zoomorphe (grenouille)	assemblage visible de composants	coulisser les doigts sur les extrémités gratter la surface rugueuse déplacer glisser	manipulation du bout du doigt, peu de surface pour ressentir, égarable facilement	précision d'action, mais peu de contact de la pulpe du doigt
	G forme complexe, petit volume, connotation zoomorphe (triton)	assemblage intégré de composants	coulisser les doigts sur les extrémités gratter les ailettes déplacer glisser	manipulation du bout du doigt, peu de surface pour ressentir, égarable facilement	grande précision d'action, capacité de serrage du doigt
	B forme complexe, petit volume, connotation zoomorphe (ailettes)	assemblage intégré de composants	appuyer le doigt sur l'avant gratter les doigts sur les ailettes déplacer glisser	manipulation du bout du doigt, peu de surface pour ressentir, égarable facilement	grande précision d'action, capacité de serrage du doigt
	J forme complexe, volume long et fin, connotation zoomorphe (insecte)	assemblage visible de composants	pointer avec la main ouvrir l'ailette avec le doigt déplacer glisser	manipulation du bout du doigt, peu de surface pour ressentir, rangeable facilement, peu intuitif	faible précision d'action (pointage) rangement facilité par sa forme type "stylo"
	X forme simple, volume long et fin, connotation technique stylo	assemblage intégré de composants	pointer avec la main agrandir le stick avec le doigt déplacer glisser	manipulation du bout du doigt, peu de surface pour ressentir, rangeable facilement, peu intuitif	faible précision d'action (pointage) rangement facilité par sa forme type "stylo"
	C forme simple, volume imposant, connotation anthropomorphe	assemblage intégré de composants	ouvrir les bras étirer le corps déplacer pousser	manipulation des deux mains, peu de surface pour ressentir, amusant à regarder, intuitif	main relevée, surface de contact verticale, déplacement directionnel par orientation personnage
	V forme simple, volume imposant, connotation anthropomorphe	assemblage intégré de composants	lever les bras étirer le corps déplacer pousser	manipulation des deux mains, peu de surface pour ressentir, amusant à regarder, intuitif	main relevée, surface de contact verticale, déplacement directionnel par orientation personnage
	M forme simple, volume imposant, large et plein, connotation zoomorphe (oursin)	assemblage visible de composants	appuyer la main sur la surface gratter les doigts sur les ailettes déplacer glisser	manipulation des deux mains, large surface pour ressentir, intuitif (éléments visibles)	pleine main, grande surface de contact
	F forme simple, volume imposant, large et plein, connotation technique (tampon effaceur) et zoomorphe (requin)	assemblage intégré de composants	appuyer la main sur la surface pincer l'aileron, orienter déplacer glisser	manipulation d'une seule main, large surface pour ressentir, peu intuitif	pleine main, grande surface de contact, déplacement directionnel
	P forme simple, volume imposant, large et plein, connotation technique (obturateur photo)	assemblage intégré de composants	appuyer la main sur la surface tourner la bande déplacer glisser	manipulation des deux mains, large surface pour ressentir, peu intuitif	pleine main, grande surface de contact, pas de déplacement directionnel évident
	H forme simple, volume plat, large et plein, connotation technique (souris PC)	assemblage intégré de composants	glisser les doigts sur les bandes cliquer les pavés déplacer glisser	manipulation d'une seule main, large surface pour ressentir, intuitif, système connu	pleine main, grande surface de contact, déplacement directionnel implicitement induit par la pointe
	Y forme simple, volume imposant, connotation technique, géométrique	assemblage intégré de composants	appuyer la main sur la surface coulisser les curseurs déplacer pousser	manipulation d'une seule main, faible surface pour ressentir, intuitif	faible précision d'action, large surface de contact potentiel mais mal orienté (proche verticale) pas de déplacement directionnel évident
	R forme complexe, volume long et fin, connotation technique (Joy-stick)	assemblage visible de composants	Appuyer la main contre le stick presser les boutons, pencher le stick pour déplacer l'avatar	manipulation d'une seule main, large surface pour ressentir, système connu	forte précision d'action pas de déplacement, contrôle de type "joy-stick"
	Z forme simple, volume imposant, large et plein, connotation ludique, balle, et petit personnage	assemblage intégré de composants	Poser la main sur la surface, presser les oreilles, déplacer pousser	manipulation d'une seule main, large surface pour ressentir, système non connu	faible précision d'action, large surface de contact, pas de déplacement directionnel évident

5.3.9 Identification de critères de variabilité inter/intra utilisateurs

Cette troisième étape a pour but d'identifier les attributs (physiques et manipulateurs) segmentant les préférences, c'est à dire les caractéristiques qui discriminent le plus les deux groupes de préférences. Dans un premier temps, nous cherchons à identifier les caractéristiques des produits qui suscitent les préférences et les aversions pour chaque groupe de préférences. Nous identifions ensuite les caractéristiques physiques, préférées et rejetées, communes aux deux groupes et différenciant les deux groupes.

Le calcul des valeurs tests a permis de définir les produits consensuels et les produits segmentant (différenciant), du point de vue de la préférence

- V, C, Y, R d'une part et G, B, K d'autre part sont différenciant
- F, J et M sont consensuels, moyennement appréciés par les deux groupes pour F et M, et très fortement apprécié par les deux groupes.

Nous proposons maintenant de regarder les attributs qui opposent V, C, Y, R à G, B, K pour trouver les attributs qui doivent faire l'objet d'une variabilité.

Attributs physiques communs opposant V, C, Y et R à G, B et K

Attributs communs à V, C et Y	Attributs communs à G, B et K
Forme : Plutôt simple, volume imposant, à connotation anthropomorphique, géométrique ou technique. Structure : Assemblage plutôt intégré des composants. Actions : Déplacement des éléments mobiles. Contraintes : Manipulation d'une main, voire des deux, large surface de contact. Bénéfices : Grande surface de ressenti.	Forme : Complexe, petit volume imposant, à connotation zoomorphe. Structure : Assemblage plutôt visible des composants. Actions : Déplacement du doigt équipé et non d'éléments mobiles (à une ou deux mains). Contraintes : Manipulation du bout du doigt, faible surface de contact. Bénéfices : Grande précision d'action.

De même, les attributs communs à F et M sont a priori les attributs consensuels porteur d'une non préférence pour les deux groupes (F et M sont moyennement appréciés par G1 et G2). L'étude des attributs de F et M fait apparaître les attributs communs suivants :

Attributs communs à F et M
Forme : Simple, volume imposant, à connotation zoomorphique, Structure : Assemblage plutôt intégré des composants. Actions : Déplacement de quelques éléments mobiles. Contraintes : Manipulation d'une main, voire des deux, large surface de contact. Bénéfices : Grande surface de ressenti.

Les attributs du produit J peuvent constituer une première identification de facteurs structurant les préférences communes des deux groupes (G1 et G2 ont donné respectivement à J la note 11,143 et 11,066). Pour confirmer les attributs différenciant pour G1 et G2, nous réalisons une ACP qui nous permet d'obtenir la position relative des produits les uns par rapport aux autres.

Considérons tout d'abord le groupe G1

Les résultats de la CAH nous ont permis d'identifier les préférences et aversions du groupe G1. Les produits J, K, G, B, préférés, apparaissent sur la moitié droite de la carte (figure 76), le produit J apparaissant sur le quart haut, K, G, B sur le quart droit. Les produits V, C et Z, rejetés, apparaissent sur la moitié gauche, près de l'axe F1. Nous reportons le descriptif des caractéristiques objectives issues de la caractérisation par les experts (table 9) des produits caractéristiques du groupe 1 (issues du calcul des valeurs tests) sur la représentation ACP ci dessous (plan de l'ACP des données de préférence cf. figure 76) :

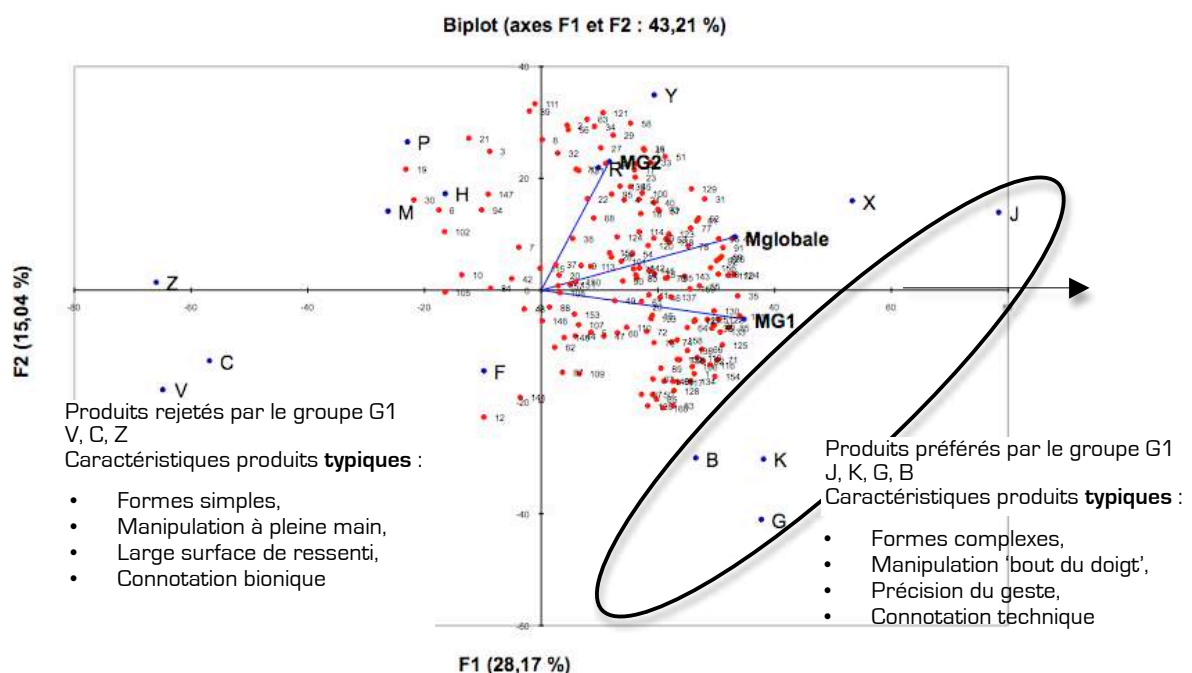


Figure 76. ACP produits-sujets des données de préférence et projection des variables supplémentaires sur les plans F1-F2. Caractéristiques typiques du groupe 1

Considérons ensuite le groupe G2

Les résultats de la CAH nous ont permis d'identifier les préférences et aversions du groupe G2. Nous reportons le descriptif des caractéristiques objectives issues de la

caractérisation par les experts (table 9), sur la représentation ACP ci dessous, et notons les caractéristiques des produits typiques du groupe G2 (résultant du calcul de la valeur test). Les produits préférés J, Y et X apparaissent sur le quart haut droit de la carte (figure 77), les produits C et V, préférés eux aussi, et portant les caractéristiques typiques différenciatrices du groupe G2 selon les résultats de la valeur test, sont situés dans le quart bas gauche de la carte. Les produits B, G et Z, rejetés, apparaissent sur le quart bas droit et quart haut gauche respectivement.

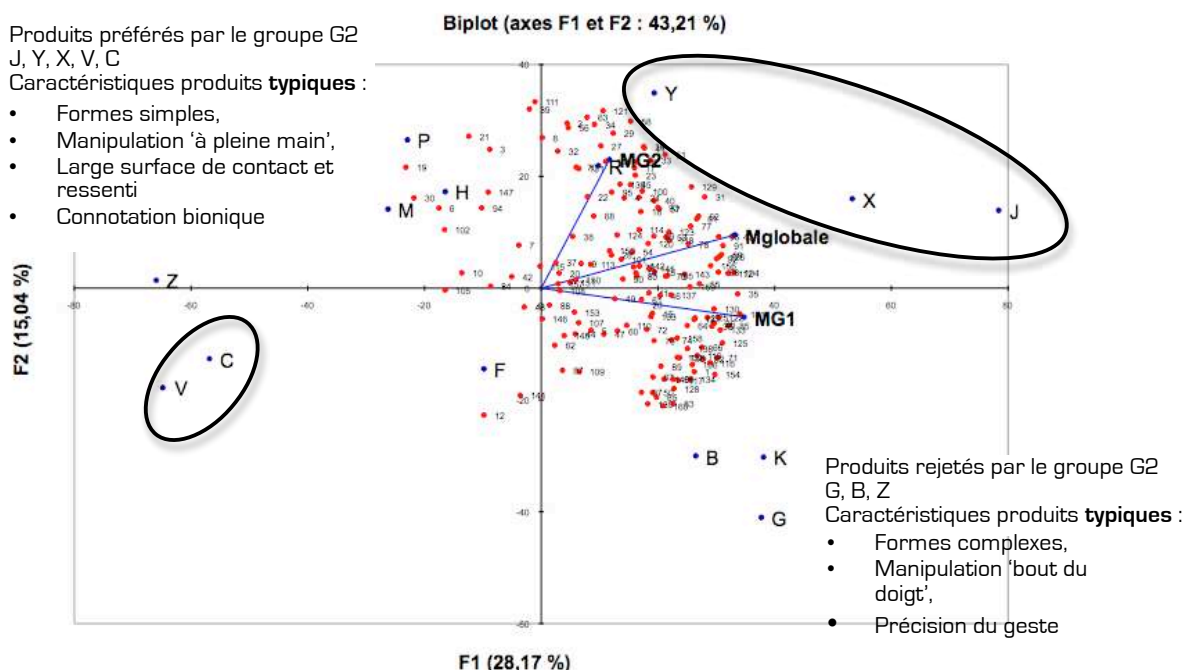


Figure 77. ACP produits-sujets des données de préférence et projection des variables supplémentaires sur les plans F1-F2. Caractéristiques typiques du groupe 2

Caractéristiques physiques communes attendues

Nous considérons les caractéristiques des produits typiques des groupes de préférences G1 et G2, résultant du calcul des valeurs tests et de la position relative des produits sur la projection produits-sujets. Les caractéristiques sémantiques attendues sur lesquelles portent les préférences sont :

- une forme à forte connotation, plutôt technique pour satisfaire le groupe 1, plutôt bionique pour satisfaire le groupe 2.

Caractéristiques physiques discriminantes attendues

Nous considérons les caractéristiques des produits typiques des groupes de préférences G1 et G2, résultant du calcul des valeurs tests. Les caractéristiques physiques discriminantes attendues sur lesquelles portent les préférences sont :

Vis à vis de la forme

- des formes complexes sont typiques des préférences du groupe G1 et des formes simples sont typiques du groupe G2,

Vis à vis des modalités d'action,

- des formes préhensibles du bout du doigt sont typiques des préférences du groupe G1 et des formes préhensibles à pleine main sont typiques du groupe G2,
- des formes offrant une gestuelle précise et incisive sont typiques des préférences du groupe G1 et des formes offrant une large surface de ressenti sont typiques du groupe G2.

Caractéristiques physiques discriminantes rejetées

Les caractéristiques physiques discriminantes rejetées sont :

Vis à vis de la forme

- des formes simples sont typiques des aversions du groupe G1 et des formes complexes sont typiques des aversions du groupe G2,

Vis à vis des modalités d'action,

- des formes préhensibles à pleine main sont typiques des aversions du groupe G1 et des formes préhensibles du bout du doigt sont typiques des aversions du groupe G2,
- des formes offrant une large surface de ressenti sont typiques des aversions du groupe G1 et des formes une gestuelle précise et incisive sont typiques des aversions du groupe G2.

En ce qui concerne la structure, les données résultant des tests de préférences et du travail des experts (table 10) ne nous permettent pas de dire si les préférences portent sur un assemblage intégré ou rendant visibles les organes structurels. Les données portant sur les bénéfices et contraintes, consignées (table 8), nous permettent cependant d'affiner la description des facteurs qui structurent les préférences et aversions des deux groupes de préférences. Le tableau 10 synthétise les attributs expliquant les préférences et aversions de chaque groupe.

10. Tableau de résultats des descriptions d'attributs

Préférences communes	
Volume long, à connotation zoomorphe.	
Aversions communes	
Volume imposant, offrant une faible précision d'action.	
Préférences du groupe G1	Préférences du groupe G2
<ul style="list-style-type: none"> - Formes complexes à connotation technique - Formes préhensibles du bout du doigt - Formes offrant une gestuelle précise et incisive 	<ul style="list-style-type: none"> - Formes simples à connotation bionique ou technique - Formes préhensibles à pleine main - Formes offrant une large surface de ressenti
Aversions du groupe G1	Aversions du groupe G2
<ul style="list-style-type: none"> - Formes simples à connotation bionique - Formes préhensibles à pleine main - Formes offrant une large surface de ressenti 	<ul style="list-style-type: none"> - Formes complexes - Formes préhensibles du bout du doigt - Formes offrant une gestuelle précise et incisive

Ces résultats nous permettent de savoir où porter notre attention. En effet, au delà des questions d'ordre formel, les caractéristiques discriminantes se révèlent être la modalité de contrôle des dispositifs. Nous proposons de définir deux populations d'utilisateurs potentiels, et d'identifier deux variabilités liées aux préférences et aversions de ces deux populations.

Groupe des « incisifs »

Cette première population de personnes apprécie « les objets techniques à connotation technique, petits, maniables, offrant une préhension ponctuelle du bout du doigt, permettant une action rapide, incisive et précise ». Nous proposons d'interpréter ces préférences sous la forme suivante :

« Préférence pour agir et actionner un avatar maniable et précis dans l'environnement plutôt que de contempler ou de ressentir l'autre avatar par une forme préhensible à pleine main mais « difficile à guider ».

Groupe des « sensoriels »

Cette population présente une préférence pour les objets de « forme simple et de volume important, manipulable d'une seule main, permettant de ressentir l'autre à pleine main sur toute la surface de la paume ». Nous proposons d'interpréter ces préférences sous la forme suivante :

« Préférence pour ressentir via des formes douces, rondes, offrant des éléments manipulables d'une seule main, dont l'esthétique peut être à connotation technique ou

bionique, permettant de ressentir l'autre à pleine main sur toute la surface de la paume ».

En synthèse

Une première variabilité apparaît concernant la nécessité d'agir ou de ne pas agir dans l'espace partagé. Certains utilisateurs potentiels, au moment où ils ont répondu au questionnaire, ont révélé cette exigence à travers leurs réponses et le classement de leurs préférences. Pour d'autres au contraire, les préférences n'ont pas porté sur des produits petits et agiles, mais sur des produits formellement plus massifs et simples visuellement, leur permettant d'agir avec moins de facilité, mais offrant l'avantage de pouvoir modifier de nombreux paramètres de façon lisible directement sur l'interface physique.

Une deuxième variabilité porte sur le besoin de ressentir ou de ne pas ressentir l'autre. Cette variabilité pourrait se trouver exactement à l'opposé de la première, mais la technique nous permet de ne pas forcément les opposer.

Nous proposons de nous intéresser aux deux fonctions nouvelles de variabilité présentées respectivement sur les figures 78 et 79 :

- le degré de précision dans l'action, variant d'un état faible (1) à un état fort (2)
 - degré de précision fin satisfaisant le groupe G1,
 - degré de précision faible satisfaisant le groupes G2,



Figure 78. Fonction variabilité de la précision

- le degré de ressenti, variant d'un état faible (1) à un état fort (2)
 - degré de ressenti fort satisfaisant le groupe G1,
 - degré de précision faible satisfaisant le groupe G2,



Figure 79. Fonction variabilité du ressenti

5.3.10 Intégration du critère de variabilité dans le processus de conception robuste

Ces résultats nous amènent à formuler l'hypothèse suivante : si les deux états des attributs qui distinguent les préférences utilisateurs peuvent être pris comme deux pôles d'une fonction « variabilité », alors nous pouvons intégrer cette nouvelle fonction variabilité dans la conception d'un produit.

Ainsi, l'objectif étant de garantir les performances du produit, quelles que soient les préférences utilisateurs, dans le cas présent, nous pourrions garantir les préférences des personnes « *agissantes* », directes et incisives, qui préfèrent un dispositif préhensible du bout du doigt et maniable, tout autant que les personnes « *sensorielles* » dont les préférences portent sur un dispositif permettant de « ressentir l'autre » et de manipuler à « pleine main ». Comme nous l'avons vu dans la précédente section, un produit pour lequel les performances sont peu affectées par des variations des paramètres de conception est dit robuste. Dans le domaine du design centré utilisateur, le but est de maîtriser la variabilité subie, non pas en supprimant les causes (ce qui en général impossible ou très cher), mais en trouvant une formalisation qui en réduira les effets.

Nous avons focalisé notre attention sur l'importance des modalités de *précision* et de *ressenti* dans la préférence, pour l'ensemble des personnes interrogées.

D'autres préférences distinctes ont été exprimées et se déterminent par rapport à l'apparence du dispositif physique : pour le groupe G2, les produits préférés correspondent à des dispositifs formels de connotations anthropomorphiques, dont les éléments et modalités d'actions sur le dispositif physique correspondent aux paramètres de l'avatar. Pour ce groupe, nous avons identifié une préférence pour les couplages basés sur les métaphores. Le groupe G1, à l'inverse, rassemble des personnes qui préfèrent de nouvelles modalités d'actions dont les mouvements n'ont pas forcément de connotation métaphorique avec les avatars qu'ils contrôlent, mais offrent un couplage direct entre la fonction et l'action, offrant comme bénéfices la fluidité et la précision d'action.

5.4 Conception robuste : Garantir les performances du concept quelle que soit la variabilité des utilisateurs

La proposition présentée ci-dessous intègre les 4 fonctions nouvelles issues de la première phase d'anticipation menée conjointement par un designer et des utilisateurs potentiels lors de séances d'entretiens et de manipulations de maquettes (§5.3.2). Ces fonctions sont les suivantes :

Le dispositif doit permettre de :

- orienter son regard,
- se grandir, se mettre en avant, « prendre la main » sur les actions, (avoir une priorité ou laisser la priorité),
- attirer l'autre, l'emmener/accepter ou refuser son magnétisme,
- s'apprêter.

A la fonction de variabilité « simultanété des actions », relevées au paragraphe 5.3.3, et portant sur la nécessité selon les situations et selon les personnes de pouvoir effectuer plusieurs actions simultanément, ajoutée au cahier des charges de conception, nous proposons d'ajouter deux nouvelles fonctions de variabilité, *variabilité du besoin de précision d'action* et *variabilité du besoin de ressenti*.

Une proposition formelle intégrant ces fonctions est présentée ci-dessous sur les figures 80 et 81.

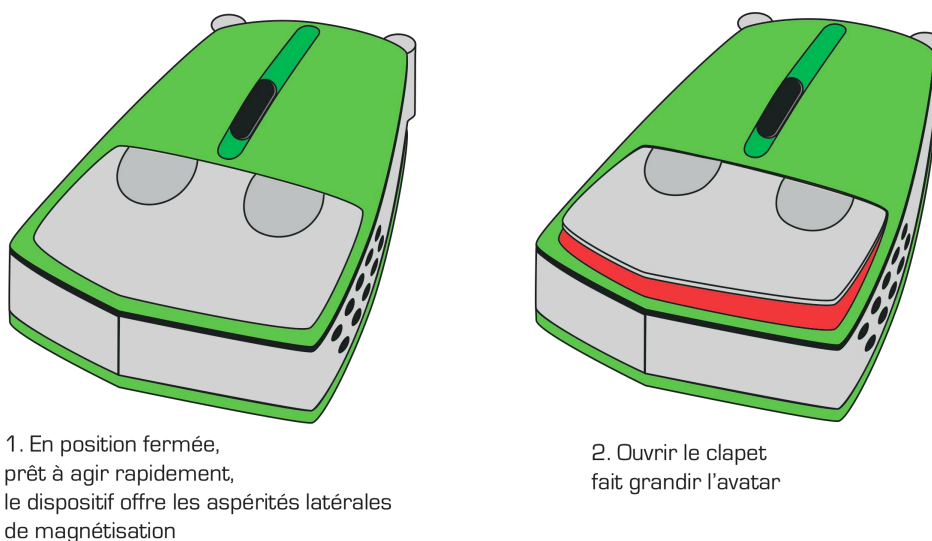


Figure 80. Proposition formelle intégrant les 3 fonctions de variabilité (simultanété, précision et ressenti)

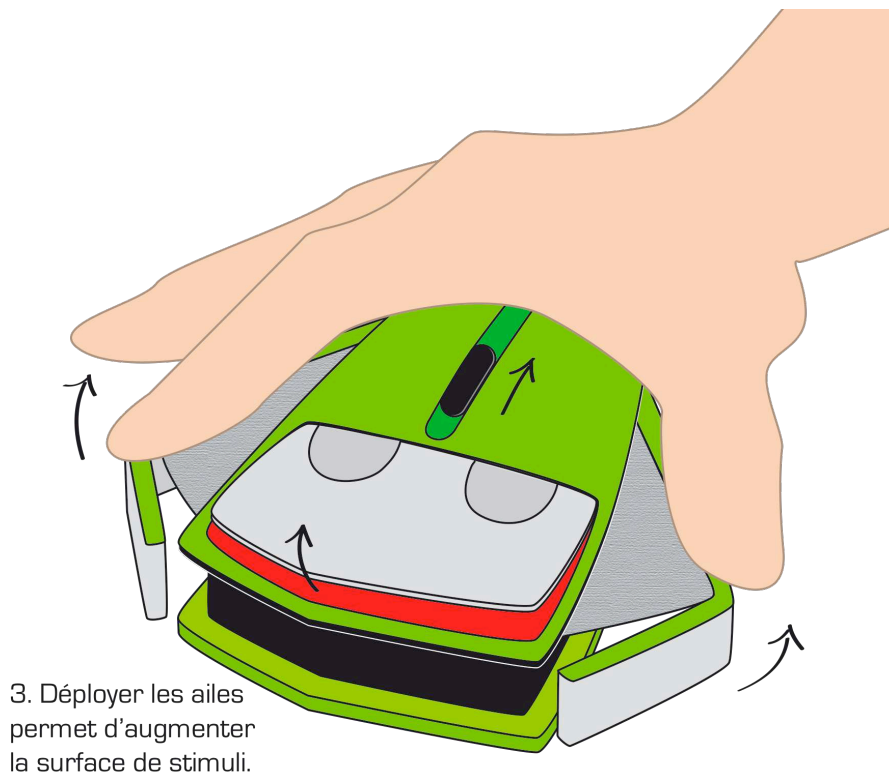


Figure 81. Position variant de faible à plus importante zone de sensation

5.5 Discussion

Dans cette étude, les résultats de la phase d'analyse descriptive effectuée par les experts (phase 5.3.8.2) nous ont permis d'identifier les facteurs différenciant les deux groupes de préférences G1 et G2. Nous avons pu constater que les produits préférés par le groupe G1 présentent des attributs semblables, alors que les préférences du groupe G2 portent sur des produits dont les attributs sont radicalement différents (J, X, et V, C respectivement). Dans le cas du groupe G2, nous pouvons dire que la population est éclectique, appréciant fortement des produits très différents, le groupe G1 quant à lui, est « pur », c'est à dire appréciant des produits présentant des attributs comparables.

Il nous a été possible en calculant les valeurs tests pour chaque groupe de préférences, d'identifier les produits typiques préférés et rejetés de chacun des groupes. Ainsi, après une étape descriptive, les caractéristiques physiques des produits structurant les préférences et aversions des groupes G1 et G2 ont été identifiées et ont permis de révéler la nature « mixte », éclectique, du groupe G2, et la nature « pure » du groupe G1. Notre but étant d'identifier la variabilité de la part subjective des besoins, dans notre cas portant précisément sur la variabilité des préférences clients, la nature

éclectique d'un groupe de préférences apporte des informations riches permettant d'identifier cette variabilité.

Les résultats ne nous permettent pas de dire avec certitude de quelle nature sont les populations constituant les groupes G1 G2, mais nous avons constaté un lien entre le fait que la personne interrogée présente une « expérience des jeux vidéo » et la nature de ses préférences, portant soit sur l'usage, soit sur l'esthétique des concepts présentés. Il nous semble que l'attention des personnes expérimentées porte davantage sur la praticité perçue et l'usage perçu, et l'attention des personnes non expérimentées sur l'esthétique des concepts qui leur sont présentés. Aussi, il nous paraîtrait intéressant de mener une étude complémentaire portant sur l'expérience des jeux vidéos des personnes interrogées afin d'identifier précisément la corrélation entre l'expérience avérée du jeu vidéo et la nature des préférences. Nous formons l'hypothèse que les préférences reposent sur des considérations différentes selon l'expérience des personnes.

5.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu exposer et mettre en application la méthode de conception préliminaire robuste dans une étude d'innovation prospective et apporter des éléments de réponse aux objectifs de recherche. Nous avons pu apporter des éléments méthodologiques permettant de construire l'expérience client comme facteur différenciant du produit à concevoir au delà de sa qualité technologique et de sa qualité perçue, en prenant en compte la variabilité des préférences clients dans la conception. Nous avons détaillé une méthodologie permettant de garantir dès les phases amont de la conception, la robustesse des performances du produit, notamment par la prise en compte de la variabilité de la part subjective – dans ce cas, les préférences clients – en conception innovante. Nous avons interprété les facteurs discriminants caractéristiques des deux groupes de préférences, et avons proposé trois fonctions de variabilité :

- le « *degré de simultanéité* » est une dimension qui nous paraît sensée pour le produit considéré, réconciliant les préférences des deux groupes G1 et G2. Nous avons proposé de créer cette nouvelle fonction pour laquelle les deux groupes de préférences sont satisfaits par les deux extrêmes.

- le « *degré de précision d'action* » ou d'agilité, pour laquelle les deux groupes de préférences sont satisfaits par les deux extrêmes,
- le « *degré de ressenti* ». Cette deuxième variabilité porte sur le besoin de ressentir plus ou moins l'autre. Cette variabilité pourrait se trouver exactement à l'opposé de la première, mais la technique nous permet de ne pas forcément les opposer, plutôt que de contempler ou de ressentir l'autre avatar par une forme préhensible à pleine main mais « difficile à guider », nous proposons une variabilité sur les deux fonctions.

Nous avons intégré ces nouvelles fonctions au cahier des charges de conception et avons développé un modèle intégrant ces nouvelles fonctions.

La proposition présentée dans ce document résulte d'une méthodologie de conception participative et de confrontation récurrente à chaque étape critique de la conception, elle a permis de :

- valider que le produit en création (ébauche) réponde aux besoins des utilisateurs finaux potentiels identifiés lors du processus,
- identifier la variabilité inter/intra utilisateurs liée aux besoins émergents.

Cependant, une des limites de la méthode provient de l'approche « analyse de données » qui fusionne corrélation et causalité. En effet, la constitution de l'espace produit étant basé sur une approche exploratoire de design produit, la sélection d'un attribut comme segmentant les préférences peut être fortuit et du à la constitution de l'espace produit. En fait, la cause réelle de la segmentation des groupes de préférences pourrait être due à des attributs cachés, qui ne seraient pas découverts par la méthode, à cause d'attributs pollueurs qui seraient présents dans l'espace produit.

Conclusion et perspectives

Nous avons vu en introduction de ce document que les enjeux économiques actuels exhortent les entreprises, fabricants de biens de consommation, à prendre en compte non seulement la qualité perçue, l'esthétique visuelle ou encore la perception sensorielle, mais aussi la qualité de l'interaction que le produit rend possible entre une personne et son environnement. Dès lors, concevoir un produit aujourd'hui nécessite de traiter *la question de la part subjective du besoin liée à l'expérience de l'utilisateur comme facteur différenciant des produits au delà de leur technologie et de leur qualité perçue.*

Cette problématique nouvelle pose un problème nouveau dans le champ de la conception. Nous l'avons exposé en détails dans le chapitre 2.

Car en effet, pour garantir l'acceptabilité d'un dispositif, son utilisabilité par un utilisateur, on s'appuie sur des expériences, observations ou enquêtes d'usage. Mais le problème est que pour effectuer ces tests, le dispositif doit être déjà achevé ou suffisamment diffusé. Si au contraire, on essaie de s'appuyer sur des pratiques préalablement existantes pour définir des fonctionnalités à créer, et tenter de deviner les usages futurs, il n'y a pas de réelle invention.

Inventer l'expérience que l'individu va constituer lors de l'usage du produit ou du service qui a été conçu nous invite à (re)penser l'approche de la conception des interfaces. Un état de l'art a permis de nous rendre compte des complémentarités qui existent entre les méthodes de conception robuste et les méthodes de design thinking, et qu'il est intéressant d'associer.

Dans ce contexte, nous avons proposé de **repenser les méthodologies de conception de produits innovants de sorte à guider l'innovation** dans un contexte de

multiplication exponentielle des objets électroniques et des technologies numériques, et par voie de conséquence, d'augmentation des phénomènes de désorientation des utilisateurs **en prenant en compte la variabilité des préférences des utilisateurs potentiels, en amont de la conception.**

Nous avons mis en place une méthode de Conception Préliminaire Robuste qui garantit les performances d'un produit technologique quelle que soit la variabilité inter et intra utilisateurs.

Nous avons exposé notre approche dans le chapitre 3. La méthode de conception est ensuite exposée à travers deux cas d'application, l'un en conception de produit nouveau, l'autre en conception innovante. Un tableau comparatif des deux approches développées dans les chapitres 4 et 5 est présenté dans la table 11 (annexe 2). Le premier cas décrit la conception d'un dispositif de sélection et d'écoute musicale prenant en compte la variabilité des préférences clients liée à la diversité des états émotionnels de l'utilisateur, le second cas, mené dans le cadre d'un partenariat avec France-Télécom, porte sur la conception innovante d'un système de communication interpersonnelle. Dans le cas d'une innovation, les besoins n'étant pas pré-existants à l'offre produits, il y a co-émergence des besoins et des dispositifs qui les suscitent. La proposition présentée au chapitre 5 a été co-construite avec des utilisateurs potentiels, elle intègre, par une large diversité de modalités d'actions, la variabilité des préférences clients liée à la diversité des modalités communicationnelles entre deux utilisateurs.

Nous avons pu montrer que cette méthode permet de contribuer à concevoir des produits et services qui satisfont pleinement des attentes antinomiques des clients, c'est à dire des préférences clients opposées, en transformant les attentes opposées en une nouvelle fonction « variabilité » du produit, qui peut être alors intégrée au cahier des charges de conception.

Les deux cas présentés montrent comment la prise en compte de fonctions nouvelles de variabilité dans la phase amont de la conception peut apporter des innovations d'usage pour les utilisateurs. La méthode, basée sur l'approche de l'analyse sensorielle, se décline en deux tests (un test de préférences utilisateurs et un test expert de caractérisation des produits), une étape d'identification des critères de variabilité, et une étape d'intégration en conception. Les résultats des deux tests ont permis

d'identifier les facteurs qui segmentent les préférences, c'est à dire les critères pour lesquels la préférence est variable. Ces critères ont été transformés en fonctions qui ont été ensuite utilisées dans la conception des produits, afin de produire des solutions qui possèdent dans le même temps les deux valeurs opposées dans la fonction.

Nous avons pu montrer qu'en amont du projet de conception, il est possible de proposer une méthode qui permette d'identifier et de traduire une variabilité humaine en critères de variabilités produit, et de proposer une méthode de conception robuste basée à la fois sur la théorie de la robustesse de Taguchi, que l'on utilise pour repositionner la fonction objectif d'une démarche d'optimisation classique, et à la fois sur les théories de perception active développés par Gibson pour tenir compte à la fois des exigences apparemment contradictoires d'un projet complexe d'innovation socio-technique, qui sont un bon équilibre entre harmonie, beauté esthétique, fiabilité et sécurité, facilité d'utilisation, coût et fonctionnalités.

Nous espérons avoir ainsi contribué à améliorer la robustesse de produits innovants, par la maîtrise des facteurs de préférences pendant la phase amont du processus de conception. Par cette méthode, nous pensons pouvoir contribuer à mieux garantir les performances du produit, quelle que soit la variabilité de l'utilisateur final, en regard aux critères identifiés. La mise en œuvre de la méthode sur deux cas, un cas d'étude et un cas industriel, en montre sa transférabilité en entreprise, sur des projets de conception de produits nouveaux tout autant que sur des projets d'innovation où le besoin et la technologie ne sont pas pré-existants au projet de conception. Nous pensons que cette méthode pourrait être employée comme méthode stimulante d'innovation en entreprise, basée sur la formulation et l'évaluation en cours de conception des concept-produits (en rupture ou radicalement innovants), de sorte à identifier les facteurs qui structurent les préférences des clients et à orienter une conception détaillée qui intègre la variabilité des préférences clients. La question de la constitution de l'équipe de conception représente une force de la méthode, en effet, il est possible d'intégrer la participation de designers soit sous la forme d'une proposition ponctuelle unique de plusieurs designers en concurrence (réponse à un appel d'offre), soit la participation à long terme d'un seul designer (intégré à l'entreprise ou consultant extérieur). En ce qui concerne la constitution du panel de personnes interrogées (nombre et qualité des personnes, connaissance du domaine

exploré), il est important de considérer les clients actuels et/ou potentiels et de constituer le panel de personnes interrogées en fonction du degré d'innovation souhaité.

Quelques questionnements pourraient être à la base de la suite de ce travail notamment les questions que soulèvent l'étude des préférences clients. En effet, nous avons étudié le lien entre préférences clients et attributs physiques du produit, il nous paraît tout aussi intéressant d'étudier les liens entre préférences clients et nature d'une expérience pré-existante du client qui pourrait influencer son regard et les points sur lesquels il construit ses préférences. Nous avons pu observer des premiers éléments de corrélation entre expérience préalable et attention portée sur l'usage plutôt que sur l'esthétique des concept-produits présentés. Cette perspective pourrait constituer un prochain sujet de thèse sur la suite de ce sujet.

Quant au test de la validité de la méthode, nous pourrions la tester de plusieurs manières, nécessitant chacune une étape complémentaire comme indiqué ci-après.

Dans un premier cas, il pourrait s'agir de soumettre les deux groupes de préférences à un nouveau test hédonique présentant 3 concept-produits (à redessiner), dont les spécifications du premier intégreraient les attributs qui structurent les préférences du premier groupe, le second ceux qui structurent les préférences du second groupe, et le troisième intégrant la fonction variabilité et correspondant théoriquement aussi au produit préféré de chaque groupe. Il s'agirait de spécifier au préalable lors de la conception détaillée de chaque concept-produit, non seulement les aspects qui ont été identifiés comme pertinents dans l'étude (modalités d'actions), mais aussi les aspects de forme, de couleur, de matière (etc) qui structurent les préférences et qui sont définis lors de la phase de conception détaillée. Des résultats équivalents (préférences aussi importantes, voire supérieures) pour le produit intégrant la fonction variabilité et pour le produit préféré, dans chaque groupe de préférence, constituerait une première validation de la méthode.

Nous pourrions aussi tester la validité de cette méthode en soumettant à un test hédonique un grand nombre de personnes intéressées par le service qu'offre le produit et ses concurrents ou assimilables, sans distinguer groupe 1 et groupe 2. Dans un premier cas, nous présenterions plusieurs appareils permettant de sélectionner et d'écouter de la musique (des appareils existants et le produit issu de l'étude), dans le

second cas, il s'agirait de dispositifs permettant de soutenir la communication avec autrui via un site dédié (des appareils existants et le produit issu de l'étude). Dans la même manière, une telle évaluation ne saurait porter sur une conception partielle ou inachevée de l'objet, à la différence de la phase exploratoire qui vise à définir où porter son attention et à révéler une variabilité pertinente. Une conception détaillée s'impose ici aussi, lors de laquelle la couleur, les textures, les matières, la forme, la nature et l'organisation des éléments formels et structurels seront définis, de sorte à répondre à l'ensemble des attentes explicites et implicites des utilisateurs potentiels. Acheter la conception détaillée est nécessaire pour s'engager dans ce test de préférences. Une préférence plus importante pour le produit issu de l'étude par rapport à la préférence liée aux produits existants (qui n'intègrent pas la fonction variabilité) pourrait consister ici aussi à une première étape de validation de la méthode.

Références

- AFNOR (2008). CDCF001 Recueil de normes web - Cahier des charges fonctionnel AFNOR.
- AGENCE-FRANCE-PRESSE. (2010). "Apple devant Nokia sur le marché des mobiles en France." AFP Retrieved 4 février 2010, from <http://www.google.com/hostednews/afp/article/AleqM5gzh1q0m4zw6wKilSwjGl rGepTuQ>.
- AKRICH, M., M. CALLON, et al. (1988). "A quoi tient le succès des innovations " L'art de l'intéressement, Gérer et comprendre **11** (Annales des Mines): pp.4-17.
- BACHIMONT, B. (2008). "L'enjeu n'est pas de concevoir des outils faciles d'usage, mais de les penser dans la perspective plus large d'une participation à une culture intellectuelle." CADI Hors série 2008 (Entretiens de l'école de Design de Nantes).
- BATIONO-TILLON, A. (2006). Pratiques des activités narratives instrumentées: Une analyse diachronique et structuro-fonctionnelle en amont de la conception, thèse de doctorat. U.F.R. de Psychologie. Paris, Université paris VIII- Saint Denis.
- BAUDRILLARD, J. (1974). La société de consommation. Paris, éditions Idées/Gallimard, ISBN 2-07-032349-8.
- BELLUT, S. (1990). La compétitivité par la maîtrise des coûts Conception à coût objectif et analyse de la valeur, AFNOR.
- BERRY, G. (2006). Pourquoi le monde devient numérique. conférence ENS-Cachan. Cachan, 12 septembre 2006.
- BONHOMME, T. (2008). Introduction de la journée Feelings. Issy les Moulineaux, Orange France Telecom, 21 novembre 2008.
- BRANGIER, E., BOBILLIER CHAUMON M.E., et al. (2002). "Analyse psycho-ergonomique de l'interaction entre l'homme et la NTIC : introduction à une psychologie de l'environnement digitale." Cahiers de notes documentaires INRS, Hygiène et sécurité du travail n°189: 15-25.

- BROWN, T. (2008). Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation, Harper Collins, ISBN: 9780061766084.
- BRUNEL, S., M. ZOLGHADRI, et al. (2008). "Ingénierie : une méthode stratégique pour la Génération de la connaissance." International Journal of Information Sciences for Decision Making, Revue Informations, Savoirs, Décisions & Médiations **3ème trimestre 2008** (Numéro thématique: Connaissance, information & environnement socio-économique).
- BUISINE, S., G. BESACIER, et al. (2007). Computer-supported creativity : Evaluation of a tabletop mind-map application. Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Beijing, 22-27, Juillet 2007.
- CAELEN, J. (2004). La conception participative d'objets interactifs : principes, méthodes et instrumentalisation. Ecole d'été TIC et société, CNRS. Carry le Rouet, 2004.
- CANALYS (2008). Marché mondial des Smartphones au troisième trimestre 2008. Journal du net.
- CANEL, A. (1993). Processus d'innovation technique, organisation de la firme et organisation spatiale: Le cas de l'électronique. Economie et sciences sociales. ENPC Paris / Marne la Vallée, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. **Thèse de doctorat**: 363.
- CARO, S. (2004). Conception robuste de mécanismes. Nantes, Ecole Centrale de Nantes. **Thèse de doctorat**: 147.
- CATTAN, M. (2004). Maîtriser le processus de conception, Afnor pratique, édition Lavoisier.
- CHERFI, Z. (2005). Projet scientifique PPF Robustesse, Université de Technologie de Compiègne.
- CHERFI, Z. (2009). Rapport d'Activité du PPF Robustesse Projet-Process-Produit. Université de Technologie de Compiègne.
- CHITESCU, C., J.-C. SAGOT, et al. (2003). Favoriser l'articulation "ergonomie-conception de produits" à l'aide de mannequins numériques. 10ième Séminaire CONFERE. 3-4 Juillet 2003, Belfort: pp 54-64.
- CHOULIER, D. (2008). Comprendre l'activité de conception, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, ISBN : 978-2-914279-41-3.

- COTTET, J.-P. (2007). Les entretiens du nouveau monde industriel. Rencontres prospectives sur les enjeux de design à l'heure des technologies numériques, Paris, Centre Pompidou, 27 et 28 novembre 2007, Cap Digital.
- CRIN (1997). Evaluation subjective, méthodes applications et enjeux, Cahier du Club CRIN, Association ECRIN, ISBN 2-912154-00-6.
- CULVERHOUSE, P. F. (1995). "Constraining designers and their CAD tools." Design Studies **Volume 16, Number 1, January 1995, pp. 81-101**.
- DA LUZ, T., E. LOUP-ESCANDE, et al. (2009). La conception collaborative de produits et aide à la prise de décision : le mindmapping interactif CONFERE 2009. 02 - 03 juillet 2009, Marrakech, Maroc.
- DAMASIO, A. (1995). L'erreur de Descartes : la raison des émotions, Odile Jacob, ISBN 2738119407.
- DARSES, F. (1997). L'ingénierie concourante : un modèle en meilleure adéquation avec le processus cognitif de conception. . Ingénierie concourante : de la technique au social. Economica : Paris, P. Bossard, C. Chanchevriér & P. Leclair (Eds)
- DARSES, F., F. DÉTIENNE, et al. (2001). Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique. Journées d'étude en Psychologie ergonomique, Epique 2001. Nantes, France.
- DELARUE, J. and J.-M. SIEFFERMANN (2004). "Sensory mapping using Flash profile. Comparison with a conventional descriptive method for the evaluation of the flavour of fruit dairy products." Food Quality and Preference **15**: 383-392.
- DEPLEDT, F., F. STRIGLER (1998). Evaluation sensorielle, manuel méthodologique (2ème édition), TEC ET DOC / édition lavoisier, ISBN 2743009977.
- DESMET, P. M. A. (2005). Measuring Emotions. Funology: from usability to enjoyment, Kluwer Academic Publishers, M.A. Blythe, A.F. Monk, K. Overbeeke, & P.C. Wright (Ed), pp 111-117, ISBN: 1-4020-2967-5.
- DIDON, J. (2008). Product development strategy. Conférence Feelings Day, 21 novembre 2008. Orange Labs. Issy les Moulineaux.
- DJAJADININGRAT, J. P., GAVER, W.W. AND FRENS, J.W (2000-2). Interaction Relabelling and Extreme Characters: Methods for exploring aesthetic interactions. 3ème Conférence on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, Techniques, DIS 2000. New York, pp 66-71, 17-19 août 2000, ISBN 1-58113-219-0.

- DJAJADININGRAT, J. P., C. J. OVERBEEKE, et al. (2000-1). Augmenting Fun and Beauty: A Pamphlet. DARE 2000: Designing Augmented Reality Environments. Helsingor, Danemark, pp131-134, 12-14 avril 2000.
- DOURISH, P. (2001). Where the action is, The foundation of embodied interaction, MIT Press, Octobre 2001, ISBN 0-262-04196-0.
- FALZON, P. (1998). La construction des connaissances en ergonomie : éléments d'épistémologie. Des évolutions en ergonomie, M.F. Dessaigne & I. Gaillard (Eds).
- FEILDEL, B. (2007). Le rapport affectif à l'espace dans le projet d'aménagement-urbanisme : representations, coordinations et actions en contexte affectif. XLIII^e colloque de l'ASRDLF Grenoble-Chambéry, 11-13 juillet 2007.
- FONTAINE, N. (2003). "L'industrie doit se marier à la mode." Libération (31 juillet 2003).
- FOREST, J., J.-P. MICAËLLI, et al. (1997). Innovation et conception : pourquoi une approche en terme de processus ? Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel. Albi, 1997.
- FRECHIN, J.-L. (2009-1). Nouveaux objets: Néobjets, Vers un nouveau système des objets. SiteNoDesign.net.
- FRECHIN, J.-L. (2009-2). NoMirror-DomusMaster. Exposition D-Day. Centre Georges Pompidou. Paris, 29 juin-17 octobre 2005.
- GAPENNE, O. and D. BOULLIER (2006). "Systèmes d'aide opératoire. Enjeu pour les technologies cognitives." Intellectica **2**(44).
- GAREL, G. (2007). "Présentation de l'ouvrage « Les processus d'innovation, conception innovante et croissance des entreprises » de Pascal Le Masson, Benoît Weil et Armand Hatchuel." Revue française de gestion **N° 175/2007**.
- GAVER, W., A. BOUCHER, et al. (2004). "Cultural probes and the value of uncertainty." Interactions **11** (Issue 5).
- GAVER, W., T. DUNNE, et al. (1999). "Cultural probes." Interactions **6, issue 1**.
- GIBSON, E. J. (1979). The Ecological Approach to Visual Perception. Houghton Mifflin, publication posthume en 1986, ISBN 0898599598.
- GIBSON, E. J. (1986). Psychologie Écologique, ISBN 0898599598.
- GOTTELAND (2005). Développer un nouveau produit : Méthodes et outils, Editions Pearson Education, 2005, ISBN 2-7440-7121-8.

- GRARD, R. and A. GUENAND (2008). "Conception d'un dispositif de partage et de rencontre dans un espace numérique." Document interne UTC.
- GREENO, J. G. (1994). "Gibson's affordances." Psychological Revue **101**(2): pp 336–342.
- GUENAND, A. (2007-2). Potentialités des Technologies de l'Information pour la Communication interpersonnelle. Document interne, Rapport de phase 1 France-telecom, Université de Technologie de Compiègne, 2007.
- GUENAND, A. and J.-F. PETIOT (2007). Designing innovative technological products using Axiomatic design : the case study of a tangible MP3 player. International Conference on Engineering Design ICED07. Paris, 28-31 août 2007, ISBN: 1-904670-02-4.
- GUENAND, A., N. SALZMANN, et al. (2008-1). Modèle du design. document interne, Université de Technologie de Compiègne.
- HALADJIAN, R. (2009). IOT cet obscur objet du désir, http://www.rafi.com/sam_suffi/iot/, 29 juin 2009
- .
- HATCHUEL, A. and B. WEIL (2002). La théorie C-K : Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. Colloque Sciences de la conception. Lyon, 15-16 mars 2002.
- ICSID (2002). Definition du design industriel, ICSID, 2002.
- ISHII, I. (2008). "Tangible User Interface and Its Evolution." Edition spéciale : Organic user interfaces **51**(6): 1er Juin 2008, ISSN: 0001-0782
- ISHII, I. and E. Ben-JOSEPH (2002). Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings, Physical Models and Digital Simulation. ISMAR 2002. Darmstadt, Germany, 30 septembre - 1er octobre 2002, ACM.
- ISHII, I. and B. ULLMER (1997). Tangible bits : towards seamless interfaces between people, bits and atoms. CHI '97 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. Los Angeles, 18-23 avril 1997, ACM Press, pages 234–241.
- JORDAN, P. (2000). Designing Pleasurable Products, an introduction to the human factors, Taylor and Francis, Contemporary trends institute, 2000, ISBN 0-415-29887-3.

- JORDAN, P. and W. S. GREEN (1999). Human Factors in Product Design: Current practice and Future trends, Taylor and Francis édition, ISBN-10: 0748408290.
- KAPLAN, d. (2009). Objets inanimés, avez-vous donc une âme ? Les Objets, l'Internet du Futur! TechnoArk de Sierre, 30 janvier 2009.
- KLINE, S. (1985). "Innovation is not a linear process." Research Management **18**(4): 36-45.
- KLINE, S. and N. ROZENBERG (1986). An overview of innovation, Landau R., Rosenberg N. (eds).
- KUJALA, S. (2003). "User involvement: a review of the benefits and challenges." Behavior and Information Technology **22**(1): 1-17.
- KUJALA, S., P. NURKKA, et al. (2009). "Capturing users' perceptions of valuable experience and meaning." Journal of Engineering Design **20**(5): 449 - 465.
- LACROIX, M. (2003). Le culte de l'émotion, Edition J'ai lu, ISBN 9-782290324318.
- LAGEAT, T., A. MONTET, et al. (2000). Marketing sensoriel : la polysensorialité des emballages, Edition de la Société des experts-chimistes de France, Paris, 2000, ISSN 0242-6110.
- LE MASSON, P., B. WEIL, et al. (2006). Les processus d'innovation: conception innovante et croissance des entreprises, Editions Lavoisier, ISBN : 978-2-7462-1366-1, 06-2006.
- LENAY, C., O. GAPENNE, et al. (2007). Designing the ground for pleasurable experience. International Conference Designing Pleasurable Products Interfaces DPPI07. Helsinki, Finlande, 22-25 août, 2007, ACM proceedings.
- LENFLE, S. and C. MIDLER (2002). "Stratégie d'innovation et organisation de la conception dans les entreprises amont, ." Revue Française de Gestion **28**(140): 89-105.
- LEVY, P. (2006). Interdisciplinary design for the cyberspace by an approach in Kansei information. Comprehensive Human Sciences. Tsukuba, Japon, 2006. **Thèse de doctorat**.
- LEVY, P., DAHYUN Kim, et al. (2009). Colourful rain – experiencing Synaesthesia. International Conference Designing Pleasurable Products and Interfaces, DPPI09. Compiègne, 13-16 Octobre 2009, UTC, ISBN: 978-2-913923-32-4.

- LEVY, P. and T. YAMANAKA (2008). Designing based on the evoked metaphor - Case study. 10th International Design Conference 2008. Dubrovnik, May 2008. **2**: 1095-1104.
- LICHTLÉ, M.-C., V. PLICHON, et al. (2001). La contribution des éléments d'une grande surface alimentaire à la satisfaction du client. Congrès de l'AFM. Deauville, Mai 2001.
- LOEWY, R. (1953). La laideur se vend mal, Gallimard.
- MALDONADO, T. (1964). Définition du design industriel. ICSID. Séminaire de l'ICSID, Bruges, 1964.
- MARSOT, J. (2002). "Conception et ergonomie, Méthodes et outils pour intégrer l'ergonomie dans le cycle de conception des outils à main." INRS, note scientifique et technique n°219.
- MARTIN, R. and H. AUSTEN (1999). "The Art of Integrative Thinking." Rotman Management Fall 1999.
- MATTELMAKI, T. and A. LUCERO (2007). Professional probes: a pleasurable little extra for the participant's work. IASTED-HCI. ISBN: 978-0-88986-655-3.
- MILLE, A. (2009). M-Traces et Système à Base de M-Traces : Un outil efficace pour une co-construction de sens fondée sur les traces d'interactions médiées par un environnement informatique ? Journée de l'ARCO. vendredi 11 décembre.
- MINEL, S. (2003). Démarche de Conception Collaborative et proposition d'outils de transfert de données Métier : Application à un produit mécanique « le siège d'automobile ». Paris, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre de Paris. **Thèse de doctorat**.
- NORMAN, D. (1999). "Affordances, Conventions and Design." Interactions **vol VI.3** (May-June, 1999): pp. 38-42.
- NORMAN, D. (2004). Emotional Design : Why we love or hate everyday things, Basic Books edition, 2004, ISBN: 0465-05135-9.
- OSGOOD, C., G. SUCI, et al. (1957). The Measurement of Meaning, University of Illinois Press, ISBN: 0-252-74539-6.
- OVERBEEKE, C. J., T. DJAJADININGRAT, et al. (2004). Beauty in Usability : Forget about Ease of Use ! Pleasure with products: beyond usability, William S. Green, Patrick W. Jordan.

- OVERBEEKE, C. J. and P. HEKKERT (1999). Editorial of the Proceedings of the First International Conference on Design and Emotion. Conference on Design and Emotion, Delft, 3-5 novembre 1999, ISBN 90-9013288-0, C. J. Overbeeke and P. Hekkert (eds.).
- OVERBEEKE, C. J. and S. A. G. WENSVEEN (2003). From perception to experience, from affordances to irresistibles, . Proceedings of the International conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces, DPPI'03. June 23-26, 2003, Pittsburgh, Pennsylvanie, USA.
- OVERBEEKE, K., T. DJAJADININGRAT, et al. (2005). Let's make things engaging. Funology: from usability to enjoyment, Kluwer Academic Publishers, M.A. Blythe, A.F. Monk, K. Overbeeke, & P.C. Wright (Ed), pp 7-17, ISBN: 1-4020-2967-5.
- PAHL, G. and W. BEITZ (1984). Engineering Design: A Systematic Approach. New York, 1984.
- PANAITESCU, M. (2007). Concept car Peugeot Flux. http://www.disenart.com/encyclopedia/concept_cars/peugeot_flux.html.
- PARK, S. H. (1996). Robust Design and Analysis for Quality Engineering, Taguchi quality Engineering Approach, Chapman Edition, ISBN 0-412-55620-0.
- PEREZ, P. and J. ROGALSKY (2001). "Interférences et conflits de schèmes dans l'usage d'outils professionnels : le cas d'un fichier cartographique de navigation." Le Travail Humain **tome 64** (n2/2001): 145-172, ISBN: 2130515908.
- PETIOT, J.-F. (2004). Conception orientée client. Ecole Centrale de Nantes. Nantes, 27 avril 2004. **Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches**.
- PETIOT, J.-F. (2008). L'analyse sensorielle. La Conception Industrielle de Produits. B. Yannou, H. Christofol, N. Troussier and F. Marle, Hermes. **volume 3, chapitre 3**.
- PINE, J. and J. H. GILMORE (1999). The Experience Economy. Boston, Harvard Business School Press, ISBN: 0875848192.
- POIGNOT, J.-L. (2007). Processus de développement de l'innovation et des nouveaux produits. <http://www.manager-go.com/innovation-produit.htm>.
- QUARANTE, D. (2001). Éléments de Design Industriel, 3ème édition, Polytechnica, ISBN: 2-7178-4233-0.

- RABARDEL, P. (1995-1). Qu'est-ce qu'un instrument ? Appropriation, conceptualisation, mises en situation, Outils pour le calcul et le traçage de courbes. CNDP-DIE – Mars 1995, : pp61-65.
- RABARDEL, P. (1995-2). Les hommes et les technologies. Une approche cognitive des instruments contemporains, Paris : Armand Colin, ISBN 2-200-21569- X.
- RASMUSSEN, J. and K. VICENTE (1989). "Coping with human errors through system desing : implications for ecological interface design " International Journal of Man-Machine Studies **31**: 517-534.
- ROGERS, E. (1983). Diffusion of Innovations. 3rd edition, New York, Free Press, ISBN: 0029266505.
- ROSIER, R. (2005). Vers une théorie unifiée de la conception ? la théorie C-K. Séminaire Coconuts. Grenoble, le 28 avril 2005.
- SAGOT, J.-C., M. MAHDJOUBN, et al. (2005). Concevoir la fonction d'usage à travers l'ergonomie. Le design en question(s). Paris, Centre Pompidou, 16-18 novembre 2005.
- SATO, K. (2005). A framework for Context-Sensitive Visualization for User-Centred Interactive Systems. 10th International Conference on User Modeling. Edinburgh, 24-29 juillet 2005, Springer Verlag Berlin Heidelberg: pp 423-427.
- SAVARY, A. (2006). La Robustesse d'une solution: Point de vue de Genichi Taguchi . Revue Sciences de l'Ingénieur ENS-Cachan, http://www.si.ens-cachan.fr/accueil_V2.php?page=affiche_ressource&id=20&page2=annexe&num_annexe=4.
- SAVAS, O. (2008) "Emotions for the necessary." METU Journal of Faculty of Architecture, 153-161, http://jfa.arch.metu.edu.tr/archive/0258-5316/2008/cilt0225/sayi_0251/0163-0175.pdf.
- SCHÖN, D., J. HEYNEMAND, et al. (1994). Le praticien réflexif, Éditions Logiques, ISBN: 2-89381-226-0.
- SCIAMMA, D. (2009). Vers le Living Objects Design. PARIS 2.0. 5ème édition, Paris, 20 septembre 2009.
- SEBBAH, F. (2007). Colloque Interaction et Cognition, Compiègne.
- SHIBA, S., D. NOYÉ, et al. (1996). La Conception à l'Ecoute du Marché, Organiser l'écoute des clients pour en faire un avantage concurrentiel, Edition INSEP Consulting, ISBN 2-901-323-63-4.

- SIMON, H. A. and J.-L. LE MOIGNE, traduction et postface (2004). Les sciences de l'artificiel, Éditions Gallimard, Collection Folio Essais, ISBN: 10: 2070301524.
- SIMON, N., J.-F. BASSEREAU, et al. (2003). Rechercher l'adoptabilité du produit à concevoir ou comment utiliser les savoirs et savoir-faire des Sciences de l'Homme en conception de produit ? 10ième Séminaire CONFERE. 3-4 Juillet 2003, Belfort: pp. 215-229.
- SOUDOPLATOF, S. (2010). Les vraies ruptures d'internet. Almatropie, <http://www.almatropie.org/blgg/tag/codesign/>.
- SSHA and F. SZTRYGLER (1998). Évaluation sensorielle : manuel méthodologique, Édition Lavoisier, Tec et Doc.
- STREITZ, N., A. KAMEAS, et al. (2007). The Disappearing Computer, Interaction Design, System Infrastructures and Applications for Smart Environments, Volume XVIII, Springer, 304 p, ISBN 978-3-540-72725-5.
- SUH, N. P. (1995). "Design and Operation of Large systems." Manufacturing Systems **14**(3): 203-213.
- SUH, N. P. (2001). Axiomatic Design: Advanced and Applications. New York, Oxford University Press, ISBN 10-0195134664.
- THEUREAU, J. (2004). "L'hypothèse de la cognition (action) située et la tradition d'analyse du travail de l'ergonomie de langue française." @ctivités **1**(2): 11-25, <http://www.activites.org/v11n12/theureau.pdf>.
- THEUREAU, J. and L. PINSKY (1984). "Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel." Revue des Conditions de Travail **9**.
- VERDIER, H. (2007). Les entretiens du nouveau monde industriel. Rencontres prospectives sur les enjeux de design à l'heure des technologies numériques. Paris, Centre Pompidou, 27 et 28 novembre 2007, Cap Digital.
- VERDIER, H. (2008). Le design de nos existences : à l'époque de l'innovation ascendante, Entretiens du nouveau monde industriel, sous la direction de Bernard Stiegler, Edition Mille et une Nuits, ISBN 978-2-7555-0075-2.
- WELLNER, P. (1992). The DigitalDesk Calculator: Tangible manipulation on a desktop display. . Proceedings of the Fourth Annual Symposium on User Interface Software and Technology. Monteray, USA, 15-18 novembre 1992, ACM: 27-33.
- WENSVEEN, S. A. G., J. P. DJAJADININGRAT, et al. (2004). Interaction frogger: a design framework to couple action and function through feedback and feedforward.

Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques.
DIS 2004. Cambridge, USA, 1-4 août 2004, ACM Press: 177-184.

WILLIAMS, A. A. and G. M. ARNOLD (1991). "The influence of presentation factors on the sensory assessment of beverages, Volume 3, Issue 2, 1991-1992, pp 101-107." Food Quality and Preferences 3(2): 101-107.

YANNOU, B. (2001). Préconception de Produits, Ecole Centrale de Paris, 29 juin 2001.
Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches.

Liste sélective des publications de l'auteur en rapport avec le sujet

Livre + organisation de conférence internationale

A.GUENAND, B. EYNARD, O. GAPENNE, C. LENAY, I. THOUVENIN, (2009). « Designing Pleasurable Products and Interfaces » DPPI'09, publié par l'Université de Technologie de Compiègne, France, n° ISBN 978-2-913923-32-4, 13-16 octobre 2009.

Revue internationale avec comité de lecture

A.GUENAND, J.F. PETIOT, (2010). « Towards a robust design method taking into account the preferences of the final user - in the early steps of the design process, » dans le livre « Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering » (Springer Verlag) (accepté le 19 octobre 2010 après seconde relecture, papier soumis le 22 novembre. 2009)

Chapitre de livres

- H. CHRISTOFOL, A. GUENAND, J.P. NADEAU, J.F. PETIOT, D. SCARAVETTI, VOLUME 3, chapitre 3, « Évaluation sensorielle et sémantique au cours des phases préliminaires du processus de conception », dans « LA CONCEPTION INDUSTRIELLE DE PRODUITS » B. YANNOU, H. Christofol, N. Troussier, F. MARLE, publication Hermes, 2008.
- N. TROUSSIER, A. GUENAND, Z. CHERFI, C. LEMARCHAND, N. BOUDAUD (2006). Variables et critères de conception. Conception robuste : d'une évaluation objective à la maîtrise d'une évaluation subjective de l'idée et du produit dans l'usage, Partie 3 dans « Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit » L. ROUCOULES, B. YANNOU, B. EYNARD, Traité IC2P, série productique, HERMES, paru février 2006. ISBN 2-7462-1214-5

Conférences internationales avec comité de lecture

- A.GUENAND, J.F. PETIOT, (2008). « Towards a robust design method taking into account the preferences of the final user - in the early steps of the design process », dans les actes de la conférence internationale IDMME 2008, Beijing (China) 8-10 Octobre, 2008.
- A. GUENAND, J. F. PETIOT, (2007). « Designing innovative technological products using Axiomatic design : the case study of a tangible MP3 player », Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED07, article n° 1-904670-01-6, actes sur CD-rom 1-904670-02-4, Paris, août 28-31, 2007.
- O. GAPENNE, A. GUENAND, C. LENAY, B. MAILLET, J. STEWART, I. THOUVENIN (2007). « Designing the ground for pleasurable experience », in the ACM proceedings of the International Conference Designing Pleasurable Products Interfaces DPPI07, ISBN, pp., Helsinki, Finlande, août 22-25, 2007

Conférences invitées

- A.GUENAND, (2008). « Design d'anticipation et qualités sensorielles du produit », conférence invitée aux ateliers du Sensolier, Paris, 14 mars 2008.

- A. GUENAND, (2008). « Design de l'interaction et exploration raisonnée des possibles », Feeling Day Orange, 21 novembre, Issy les Moulineaux, 2008.
- A. GUENAND (2007). « Faire de la recherche en conception de produits technologiques », Ateliers de la Recherche en design, 22 & 23 mai 2007, Nancy

Annexe 1

INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, ICED'07
28 - 31 AUGUST 2007, CITE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE, PARIS, FRANCE

DESIGNING INNOVATIVE USER ACTION ORIENTED PRODUCTS USING AXIOMATIC DESIGN: A CASE STUDY OF A TANGIBLE MP3 PLAYER

Anne Guénand¹, Jean-François Petiot²

¹Technological University of Compiègne, ODIC, France

²Ecole Centrale de Nantes, IRCCyN, France

ABSTRACT

New technologies offer to the designers a great opportunity to extend their creative abilities from the design of forms to the design of experience. Unlike technical mechanical devices which impose through their internal logic a shape and an interaction mode, today's products, often reduced to beautiful boxes with screen and buttons, contain electronic components that offer a great freedom of shaping and possible interactions. The question designers are facing with is how to exploit this freedom of shaping for designing acceptable products and reducing the apparent complexity without reducing functionalities. What are the guidelines underlying the design for experience and how to design rich experience products? This article examines the relationship between the product's design parameters and the user actions as being a potential factor of success for digital products. The axioms of the Axiomatic design theory have been used and transposed in order to design innovative User-Action Oriented interfaces. Through an Axiomatic Design analysis done on 4 music players, we propose a positioning on a two dimensional space, easy of use and attractiveness, of the products, and propose some indications for specifying attractive products.

Keywords: Technological product design, tangible design, axiomatic design, innovation

1 INTRODUCTION

It is the responsibility of the designers to do a good use of the meanings carried by the product in order to make it attractive, to highlight usage values, to improve the usability, and to propose new experiences through the product's usage. A design approach [1], focused on user's experience, assumes that the way the user interacts with the product is as important as the results of the interactions. Depending on the way the product is designed, the actions of the user on the physical elements of the products may suggest to the user new sensations and enjoyable experiences.

For many well-designed products, what is making possible through the usage of the product often emanates from the product-user interaction. In the same way, the efficiency of a given task achievement is often the result of an expressive interaction with the system.

Many design theories study the link between the functionalities of a product and the design parameters (functional analysis, value analysis, axiomatic design [2], [9]). Axiomatic Design aims at building a functional model of the relations between the functional requirements (FRs) of the users and the means dedicated to satisfy it (the design parameters DPs). This method is useful for product design or re-design, taking into account the functionalities needed by the user and the design parameters, i.e. the physical arrangement of the products components. The axiomatic design rules are built on the two following axioms [3]:

- Satisfy functional requirements by maximizing the independence of the functional elements (avoid undesirable couplings). Independence allows a huge freedom of design by reducing couplings. (the DPs and the FRs are related in such a way that a specific DP can be adjusted to satisfy its corresponding FR without affecting other FRs)
- Minimize the contents of information (= maximizes success) (The best design is a functionally uncoupled design that has the minimum information content) Among all concepts that satisfy the

Independence Axiom, the one with minimum information content is the best one (in relative terms)

The best design selection stage is to favour the candidates who answer axiom 1, then among these selected ones, to favour the one who answers axiom 2.

In this paper we propose to analyse user-product interaction according to the axiomatic design theory. We analysed four MP3 players, and we studied the relationship between the design parameters and the user's actions. We finally propose a trade-off between user complexity and user attractiveness, presenting the relations between the diversity of User actions and physical Design Parameters as key factors.

We present in section 2 the methodology used for the study of the design of MP3 players. Section 3 is dedicated to the case study and describes the analysis of MP3 players according to the axiomatic design theory. Four music players (two existing products and two prototypes) have been analysed and characterized through their Functional Requirements (FRs) and Design Parameters (DPs).

In section 4, a transposition of the axiomatic design axioms is made. The links between the design parameters and the user actions are analysed through the axiomatic design theory. Section 5 proposes a synthesis of the study by the design brief of a new MP3 player, taken into account the results of the surveys. Conclusions and perspectives are drawn in section 6.

2 METHODOLOGY

Within a design project done at the *Odic Lab* in the UTC, we developed two music players on the basis of tangible design. Both prototypes intend to be intuitive and pleasant, and aim to fit collective use. The first step of the design process concerned the concept findings, then the transformation of the ideas into product functionalities, and then the phase of embodiment. At this stage, which can be done in many ways, we were facing with the question of how to guarantee the better design for the final user? What structure, what organisation of the materiality would fit better the users' experience? Through the analysis of two existing products, a simple model and the largely sold *Apple iPod*, we found some factors that could contribute to a great experience and so to the success of a technological product. We then analysed the two music players prototypes and deepened the findings that it could exist a relation between the diversity of user actions and the degree of pleasantness of a product.

3 CASE STUDY: ANALYSIS OF MP3 PLAYERS USING AXIOMATIC DESIGN

Since the apparition of the standard MP3 (MPEG-1/2 Audio Layer 3) algorithm of compression that generates a drastic compression of musical files without losing perceptible acoustic quality for the human ear perception spectrum, many MP3 devices have been designed and launched on the international market. After its announcement in 2001, and for the six last years, the *Apple iPod* and its declination (mini, shuffle, photo, nano) have radically changed the world of music listening and the way people interact with music.

How *Apple* has been able to convince the consumers that they should buy an *Apple iPod*, if any, is an interesting question for the designers and researchers. Success companies do not conquer the customers in selling them qualities of a product, but by creating "higher experiences" [4]. Given the appeal of new products such as the *Apple iPod*, the potential benefits of tangible interaction to digital music databases can be one answer. Indeed, while many existing MP3 players - very similar in physical appearance - offer a wide range of button-loaded controls interfaces, the *iPod*'s capacitive sensor's interface recognises position, touch of a user's finger as a normal touchpad and enables various user interactions taking into account location, trajectory and speed.

3.1 Products

In this way, we analysed the following four digital music players: the most basic design (A), the *Apple iPod* (B) and two new designs taking into account the user experience (C and D). The devices are presented in figure 1.

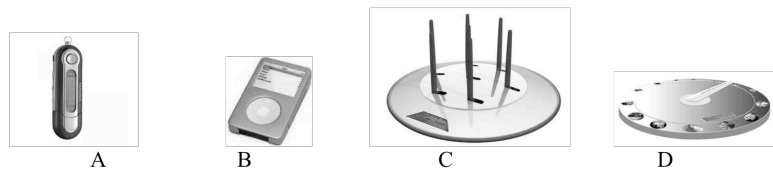


Figure 1. Picture of the four MP3 players, A, B, C and D.

The prototypes C and D are functional prototypes, as presented in the section 3.2, the images C and D above are CAD models. In order to design C and D as tangible and attractive devices, we investigated how the perceptual-motor skills of the users can be involved in order to design pleasant interactions. Among the references in the interaction design field, we tried to integrate the 4 advices from Norman [5], presenting a good design interface as being (1) visible, (2) easy to form a conceptual model, (3) having a good mapping between interface and functions, (4) presenting feedback.

We noticed as well the advices from Dourish [6], i.e. the intuition behind tangible computing is that, because we have slightly developed skills for physical interactions with objects in the world, we can make interaction easier by building interfaces that exploit these skills. Pat Jordan [7] proposes some keys in order to design products and services that people love: Physio, Socio, Psycho and Ideo-pleasures. Jordan puts the pleasure at the top level, in front of functionality and usability, among the sales influencing factors.

Overbeeke et al. [8], leading research on interaction design as well, have proposed the Interaction Frogger, a design framework to couple action and function through feedback and feedforward. With this framework, it is possible to illustrate the couplings that are representative for different interaction styles. These methods and guidelines have been used to design two innovative Music players, C and D, analysed in the next section.

3.2 Analysis of the products with the axiomatic design theory

Based on the principles of axiomatic design [2], the 4 products have been analysed in order to produce a relevant comparison and to propose specifications of the “best” product, regarding the axiomatic design. For this study, we focus only on the FRs concerning the use of the product, not on other FRs (stockage, transport, ergonomics, ...) The design equation of the products, involving the DPs (Design Parameters) and FRs (Functional Requirements) have been defined after an analysis of the products by an engineer-designer. For the device A, all the Design Parameters were considered. For the remaining products (B, C, D), for simplicity, only the DPs corresponding to a physical support of the system (e.g. buttons) were considered (the DPs corresponding to the physical quantity (e.g. force, or velocity)), or the state of the system, were not included in the design equation.

The former type MP3 (A)

- We consider the DPs (Design Parameters) and the FRs (Functional Requirements) of the A type MP3

FR1 [On] turn the system on (long press play/pause button)
 FR2 [Off] turn the system off
 FR3 [Play]
 FR4 [Pause]
 FR5 [Next play]
 FR6 [Previous play]
 FR7 [Change volume]

DP1 [sensor a]
 DP2 [sensor b]
 DP3 [sensor c]
 DP4 [sensor d]
 DP11 [short press on sensor a]
 DP12 [long press sensor a]
 DP13 [memory about the state of the system (On/Off)]
 DP14 [memory about the play/pause mode]

- Design equation

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \\ \text{FR5} \\ \text{FR6} \\ \text{FR7} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{x} & 0 & 0 & 0 & x & 0 & x & 0 \\ x & 0 & 0 & 0 & x & 0 & x & 0 \\ x & 0 & 0 & 0 & 0 & x & 0 & x \\ x & 0 & 0 & 0 & 0 & x & 0 & x \\ 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \\ \text{DP3} \\ \text{DP4} \\ \text{DP11} \\ \text{DP12} \\ \text{DP13} \\ \text{DP14} \end{Bmatrix}$$

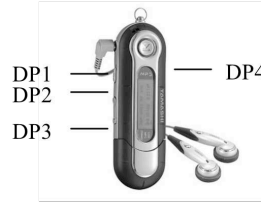


Figure 2. Former type MP3 (A)

We can observe that the former type MP3 respects the first axiom only for functions FR5 FR6 FR7. Parameter DP1 has a coupling between the 4 functionalities FR1 FR2 FR3 FR4: on/off/play/pause.

The iPod type MP3 (B)

We consider the physical DPs (Design Parameters) and the FRs (Functional Requirements) of the iPod type MP3

- Common FRs with the Former type MP3:

FR1 [On] short push on play/pause button or short push on the central button

FR2 [Off] long push play/pause button

FR3 [Play] push play button or caress tactile jog then push central button 3 times

FR4 [Pause]

FR5 [Next play]

FR6 [Previous play]

FR7 [Change volume] caress tactile jog but only if Play mode selected, otherwise not

- New specific FRs of the iPod regarding music, and physical DPs:

FR8 [Menu access] menu button

FR9 [Select a Function: i.e. a playlist, an artist,

an album, a compil, a gender, a composer, etc] tactile knob + central button

FR10 [Play a selected title] caress tactile knob then push play or push central button

FR11 [Random play] push menu then tactile knob + central button then tactile jog + x times central button

FR12 [Repeat] push menu then tactile knob then central button then tactile jog then x times central button

DP1 [Force sensor a] = play/pause

DP2 [Force sensor b] = next

DP3 [Force sensor c] = previous

DP4 [Capacitive knob] and only when play mode is selected

DP5 [Force sensor d] = menu button

DP6 [Force sensor d] = central button

- Design equation

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \\ \text{FR5} \\ \text{FR6} \\ \text{FR7} \\ \text{FR8} \\ \text{FR9} \\ \text{FR10} \\ \text{FR11} \\ \text{FR12} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & 0 & x \\ 0 & 0 & 0 & x & 0 & x \\ 0 & 0 & 0 & x & x & x \\ 0 & 0 & 0 & x & x & x \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \\ \text{DP3} \\ \text{DP4} \\ \text{DP5} \\ \text{DP6} \end{Bmatrix}$$

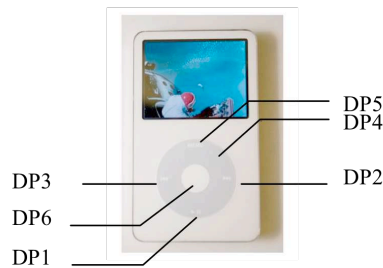


Figure 3. iPod MP3 (B)

Regarding the first axiom, we can observe that the independence of the functional elements is realized for FR5 to FR8. FR1 to FR4 (functions on, off, play and pause) are linked, to DP1. Regarding the 5 functional requirements FR8 to FR12, which are accessible through the button “menu”, they all present a dependence to the design parameter DP4 and DP6, and DP5 (which is the parameter linked to the menu function).

Discussion for products A and B

Regarding both equations, since the number of physical DPs is lower than the number of FRs, we can say that the design is coupled (different functions involve the same buttons). We are facing with a paradox, how a coupled design, not satisfying completely the axiom 1, can even be a great product, a best seller in the world of music devices. The sales number of *iPod* is increasing drastically each year since 2001. We suggest the hypothesis there could be another factor and perhaps a rule to be taken into account for designing the best product, and we will explore the actions of the user involved in the interaction to grasp the relationship between the potential success of a product and its design.

Regarding the *iPod* MP3 player, the menu presents a quite huge representation mapping, implying the user in a reading task, mobilising his/her attention on the screen in order to get visual information and to navigate. Each function existing in the menu has got visual and acoustic feedback, and is accessible through 2 dimensions gesture. Indeed, compared to the former type MP3 (A), the *iPod* (B) presents not only new functionalities but also new ways of browsing it. The user, involved so far with one dimension gesture (push button) is in this case involved in a 2 dimensions gesture in which position, duration of pressure and trajectory of the finger are meaningful and taken into account by the device. This last observation leads us to consider the hypothesis that the experience elements could be seen also as key factors for the success of the product. In this context, and in the aim presented in § 2 (i.e. the more the body is involved, the more the device can be pleasant and doing so the more the product will be interesting –if not successful), we developed two playing music prototypes.

The antenna type MP3 (C)

Both prototypes do not focus on nomadic use, but the study results could be applied to that type of music players. Following the previous result regarding the *iPod*, which is the increasing involvement of the perceptual motor skills of the user during the use of the product, we developed 2 prototypes based on the coupling of action and function [8]. In this way, this device does not include button on/off, the action of manipulating an antenna triggers off the music playing. Furthermore, each antenna represents a play list and contains a certain amount of titles, which are accessible according to the way the user acts with. The working principle of this product is common with other MP3 players, it gives the user access to music from recorded playlists. Each title is recorded very easily on one of the stems as shown below. The downloading of the musics can be done from USB keys. Thus, one can consecrate each stem to a musical style, or to a family member. This product offers several modes for accessing the titles: in a direct way: drawing one of the stems, one launches the corresponding title play. It is possible to choose the song that one wants to listen by lifting up more or less the stem. In a random way, while tilting on one of the stems, one launches the random playing of the corresponding playlist. In a BPM (beat per minute) way, one selects a music type (slow, fast, ...) according to the "stroke" done on the antenna. For that, it suffices simply "to caress" the stems more or less quickly.

The Functions Requirements and the physical DPs are presented below:

FR1 [Play a play-list] pull antenna 1	DP1 [Slider sensor] play-list 1
FR2 [Play a selected title] pull antenna 1 until the selected play	DP2 [Slider sensor] play-list 2
FR3 [Random play within a play-list] push the selected antenna	DP3 [Slider sensor] play-list 3
FR4 [BPM play] (<i>Beats Per Minute</i>) push selected antennas with a certain speed	DP4 [Slider sensor] play-list 4
FR5 [Next play] push down the playing antenna	DP5 [Slider sensor] play-list 5
FR6 [Previous play] pull up the playing antenna	DP6 [Slider sensor] play-list 6
FR7 [Change volume] glide the cursor	DP7 [Slider sensor] play-list 7
FR8 [Stop] push down all antennas	DP8 [Slider sensor] volume
	DP9 [Force sensor] random on play-list 1
	DP10 [Force sensor] random on pl 2
	DP11 [Force sensor] random on pl 3
	DP12 [Force sensor] random on pl 4
	DP13 [Force sensor] random on pl 5
	DP14 [Force sensor] random on pl 6
	DP15 [Force sensor] random on pl 7

- Design equation

In this case, the physical DPs are of 3 types: 7 sliders controlling the 7 play-lists; one sliders controlling the volume; 7 force sensors controlling the random mode and the BPM (Beats Per Minute) mode, according to the users interaction gesture.

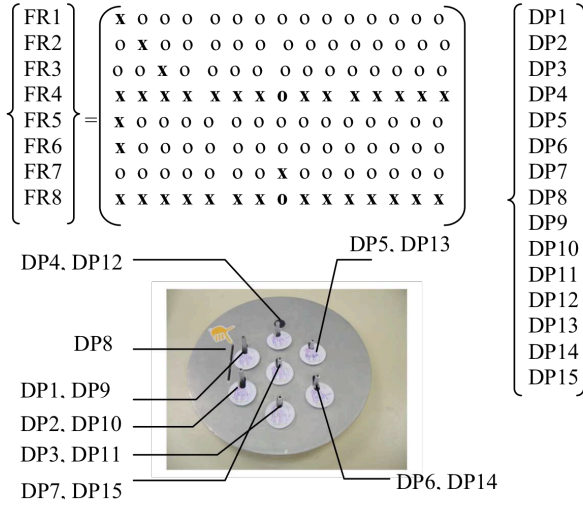


Figure 4. The Antenna type MP3

The physical elements are directly coupled to musical data, The action to grasp some elements has a direct relation with the music played. Furthermore, the way the user tilts one antenna or caresses some of the antennas is taken into account as well, and is related respectively to the random and the BPM modes. In the design equation, from the FR1 to FR3, where the functional elements are not coupled, we can say that the axiom 1 is well respected. On the other hand, from FR4 to FR8, we can observe a dependency of the elements, due to the use of the same elements within different interactions modes. In order to better understand what is given possible for the user through the use of the device, we did a survey whose results are presented in section 3.3.

The arm type MP3 (D)

Presentation of the arm type MP3: The working principle of this product is common with other MP3 players, it gives to the user access to music from recorded playlists. Each title is recorded very easily on one of the angular segment as shown on the picture. The downloading of the musics can be done from USB keys. Thus, one can consecrate each angular segment to a musical style, or to a family member. This product offers several modes for accessing the titles: In a direct way, rotating the arm launches the corresponding title play. It is possible to choose the song that one wants to listen on the playlist while sliding more or less the slider on the arm. In a random way, pushing the slider with a certain force launches the random play of the corresponding title. In a BPM way, pushing the arm with a certain speed between two music areas corresponds to a certain music play, according to BPM.

The FRs and physical DPs are as follow:

FR1 [Play a play-list] turn arm until the selected area	DP1 [Rotation sensor]
FR2 [Play a selected title] pull slider until a selected play	DP2 [Slider sensor]
FR3 [Change volume] glide the cursor	DP3 [Slider sensor]
FR4 [Random play within a play-list] push the slider with a certain force	DP4 [Slider sensor]
FR5 [BPM play] push arm with a certain speed between two music areas	DP5 [Slider sensor]
FR6 [Next play] pull slider	DP6 [Slider sensor]
FR7 [Previous play] push slider	DP7 [Slider sensor]
FR8 [Stop] turn slightly the arm between two music areas	DP8 [Slider sensor]

- Design equation

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \\ \text{FR5} \\ \text{FR6} \\ \text{FR7} \\ \text{FR8} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{o} & \text{x} & \text{o} \\ \text{o} & \text{o} & \text{x} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{o} & \text{x} & \text{o} \\ \text{o} & \text{x} & \text{o} \\ \text{o} & \text{o} & \text{x} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \text{DP1} \\ \text{DP2} \\ \text{DP3} \end{Bmatrix}$$

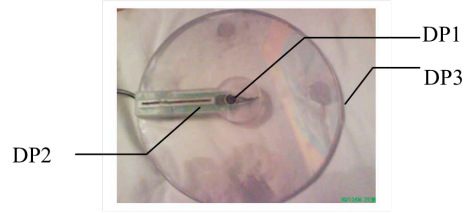


Figure 5: First prototype of the Arm mode MP3 (D)

In this case, the physical DPs are of 2 types, one rotating sensor controlling the play-list mode and the BPM mode, according to the user's interaction gesture. One slider is controlling the titles selection within a list and the random play, while the second slider is controlling the volume. Each physical element and its correlated gestures of interaction are directly coupled to musical data, for example depending on the way the user will turn the arm, he/she will switch from a play-list mode to a BPM mode or to the random mode. The speed and trajectory of the arm have got a direct relation with some music selection. In the design equation, from the FR1 to FR3, where the functional elements are not coupled, we can say that the axiom 1 is well respected. On the other hand, from FR4 to FR8, we also can observe a dependency of the elements due to the use of the same elements within different interactions modes.

Discussion for products C and D

For both prototypes, since the number of DPs is lower than the number of FRs, we can say that the design is coupled. The prototype C presents many DPs dedicated to the same function for the 7 play-lists. The design can be improved with respect to the Axiomatic Design for model C as well as for model D. Nevertheless, the survey gave results that are a good indication of what could be a rich experience for the user. The model C has been manipulated by many people, music amateurs as well as music experts, who gave us their qualitative evaluation. The model C has been considered as a new way of browsing music and a new way of selecting titles, easy to use, even not very explicit as a on shelf laying product. Once antennas have been grasped, it becomes easy to control and to enjoy in a collective use. The results of the survey gave interesting information on people enjoyment, many testers would have like to experiment it longer in the real life, and would be ready to pay a reasonable price for getting it. The model D is still under testing and so far we can observe that it induces another experience for the user, different from model C.

3.3 Results of the survey done during the "FDS" event

The FDS (Fête De la Science) is a national event, as existing sciences festivals in many countries, promoted by the French Ministry for Research and higher education, and aims at making closer science and society, informing people on future technology applications and getting information feedback in return.



Figures 6 & 7: Users testing the Antenna mode MP3 (C)

At this occasion, a hedonic questionnaire has been launched in order to get quantitative and qualitative information on the attraction power of the device. The result, the sharing out of the answers to the survey, is presented in table 1. To the question, *among the 6 pre-definite answers, could you mark the position which fits the best to your feeling regarding the device*, we can observe a very high amount of positive answers (63%) “I would buy it at a reasonable price” and an equivalent amount of answers (14%) in the choice 1 “I really want it” and “I would accept it if someone gives it to me”. Very few people rejected it (respectively 3% “really do not want it, 4% “do not see any interest in it” and 1% “found it really stupid”).

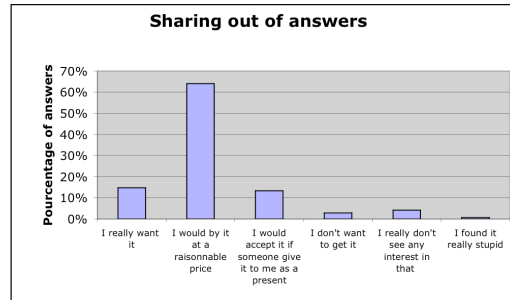


Table 1: Sharing of answers of the survey done at the FDS 2006 (%)

As many testers said while trying the device, the system allows one's to navigate among the music titles intuitively, giving feedback on the actions through music playing and control screen display. Mainly, tester's actions started with pulling one antenna and were associated with careful listening on what was going on. Then, pushing, tilting and caressing were tested and understood as far as team members started to encourage testers to discover the system.

As a result, we get different propositions from professionals (dancers and Djs) for deepening the testing phase of the device in a real context of use, such as a dance salon and parties.

We plan to lead further experiments in order to validate the elements we found that make it possible the pleasurable experience.

We assume that, in addition to the axiom 1 (maximize independency between elements), and axiom 2 (minimize the content of information), that is not used at this stage in this study, the best design – i.e. the design that satisfies better the users needs – is, among the solution which satisfy axioms 1 (and 2), the solution that satisfies better the diversity of the user's actions involved during the use. This aspect will be developed in the section 4.

The prototypes C and D were built based on the tangible design principles, they present physical components accessible to the user, that can be pulled, pushed, turned, tilted or caressed, as the location of the elements, the type of action, the speed of action, the duration of the gesture (smooth caress or quick one), is taken into account. All of the products and prototypes are analysed through the angle of the user actions in the next section.

4 ANALYSIS OF THE USER ACTIONS

Compared to the former type MP3, which satisfies greatly the axiom 1, the product *iPod*, as well as both prototypes C and D, offers a partial satisfaction to the axiom 1, as presented in the previous sections for FR1 to FR3 and for FR8 to FR12. In the case of *iPod*, part of the Functional Requirements are linked to coupled elements, some FRs are linked to the same physical DPs, but depending on the mode (listen or not listen), the same gesture implies different functions, for example “sliding a finger on the tactile knob” will be “controlling volume” during music play and “browsing the menu” in the other cases.

Aware of the success of *iPod*, we assume that, in addition to the satisfaction of axiom 1 and 2, the best design should be the one which satisfies better the user constraints. We could interrogate the novelty of the system *iPod* (one product + one online music service) as being one key of its success. Nevertheless, since the product interface present novelty as well, we assume that the interface, and

especially the actions done by the user, can be potentially a key of satisfaction for the users, and a factor of success of the product. For the two prototypes C and D, the effort has been done to develop a richer interaction with the user, involving more freedom of action, taking into account the evolution in the interaction from gesture in one dimension (1D) (A, former type MP3) to 2D (B, *iPod* MP3) as being a potential factor of satisfaction for the user. To illustrate this point, we propose to analyse each device in the light of user action (UA), focusing on the relation between the Functional Requirements and the User's Actions involved.

- FRs and UAs relations for the former type MP3 (A)

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \\ \text{FR5} \\ \text{FR6} \\ \text{FR7} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{x} \\ \text{x} \\ \text{x} \\ \text{x} \\ \text{x} \\ \text{x} \\ \text{x} \end{Bmatrix} \left\{ \text{UA1} \right\} \text{press}$$



Figure 8. Former type MP3 User Actions

In this case, as in many digital devices, all user actions (UAs) are on the same type, one finger 1D press button action. Comparing the Diversity (d) and the Number (n) of User Actions to the Number of physical Design Parameters (presented in section 3.2), we can observe the following relation between UAs and DPs:

$$dUAs=1 \text{ and } nUAs = nDPs=4$$

- FRs and UAs relations for the *iPod* MP3 (B)

$$\begin{Bmatrix} \text{FR1} \\ \text{FR2} \\ \text{FR3} \\ \text{FR4} \\ \text{FR5} \\ \text{FR6} \\ \text{FR7} \\ \text{FR8} \\ \text{FR9} \\ \text{FR10} \\ \text{FR11} \\ \text{FR12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{o} & \text{x} & \text{o} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{x} & \text{o} & \text{x} \\ \text{x} & \text{o} & \text{o} \\ \text{x} & \text{o} & \text{x} \\ \text{x} & \text{o} & \text{x} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{UA1} \\ \text{UA2} \\ \text{UA3} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{press shortly} \\ \text{press long} \\ \text{slide} \end{Bmatrix}$$

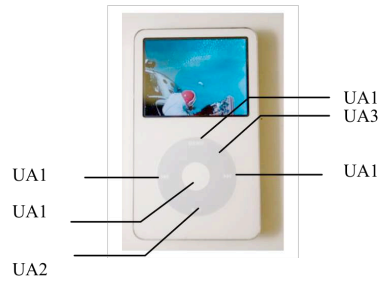


Figure 9. iPod MP3 User Actions

In the case of *iPod*, the User Actions are of 3 types, short, long press and slide. Comparing the Diversity (d) and the Number (n) of User Actions to the Number of physical Design Parameters, we can observe the following relation between UAs and DPs:

$$dUAs=3, \text{ and } nUAs=6 \text{ } nDPs=6$$

- FRs and UAs relations for the antenna MP3 (C)

In the case of the Antenna type MP3, the User Actions are of 5 types, pull, push, tilt, caress and slide. Comparing the Diversity (d) and the Number (n) of User Actions to the Number of the physical Design Parameters (presented in section 3.2), we can observe the following relation between UAs and DPs:

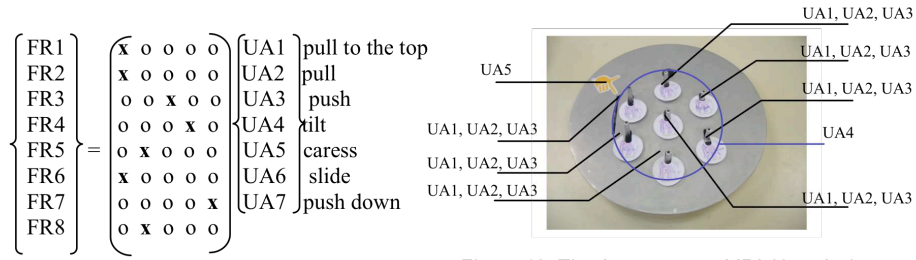


Figure 10: The Antenna type MP3 User Actions

$dUAs=7$, and $nUAs=23$, $nDPs=15$, $nUAs > nDPs$

- FRs and UAs relations for the arm MP3 (D)

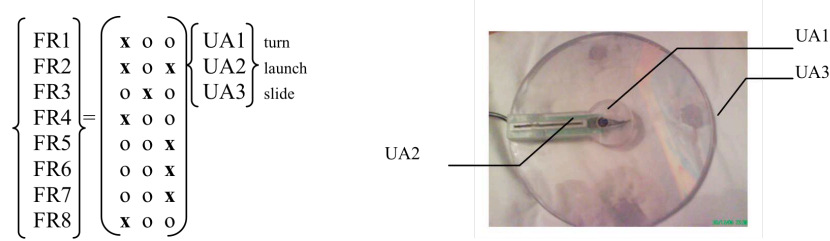


Figure 11: The Arm type MP3 User Actions

In the case of the Arm MP3, we can observe that the D model presents the following relation between UAs and DPs: $dUAs = 3$, and $nUAs = nDPs=3$

Discussion

For product A, the number of the user actions and the number of physical devices he/she will be given to interact with is quite equivalent. In this case, one action corresponds to one physical design parameter. On the contrary, the model B presents a quite important diversity of user actions, comparing to the model A, and a number of physical design parameters not so important, relatively to the model C or D, and is perceived as attractive and relatively easy to use. The model C presents a quite important diversity of user actions and a high number of physical design parameters, it is perceived as attractive but a little bit complex to apprehend. The model D presents a quite important diversity of user actions and a relatively not so high amount of physical design parameters, equivalent to model B, its experimentation and appreciation analysis are still under processing.

From this analysis, we propose a representation in a 2D space, showing the tradeoff between user complexity and user attractiveness, as in the figure 12 below.

We notice the importance of the diversity of the user actions as key factors for the attractiveness of the devices: we observe that an easy of use product presents a weak numbers of physical DPs, and a relative decoupling DPs/FRs, on the contrary a not easy of use product will present a great number of DPs and coupling. Regarding the second dimension, we observe that an attractive product presents a great number of user actions and a great diversity of user actions.

The design of a technological and mass consumption device could be improved by examining the position regarding these two aspects. These aspects are usually expressed on the design brief, and once positioned within these subjective and qualitative descriptors, the design specifications can be defined through the respect of the rules, ie "if" the product has to be attractive "then" the dUAs has to be important as well as the nUAs, and "if" the product has to be easy to use, "then", the nDPs has to be as low as possible.

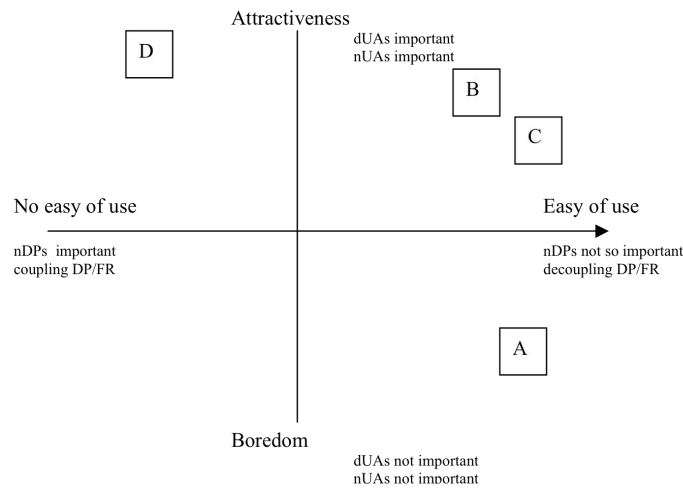


Figure 12: representation of the positioning of the design, on the two axes attractive or boredom and easy to use or not easy to use, depending on dUAs, nDPs and nUAs in the case of close or equivalent FRs number. For example, we can observe that a mean to reduce the apparent complexity of the model D could be to reduce the number of physical Design Parameters.

5 BRIEF FOR A « BEST » DESIGN REGARDING AXIOMATIC DESIGN AND COMPLEMENTARY RULE

Based on the analysis of design equations, we developed the brief for the arm system (prototype D) with a better satisfaction of axiom 1, trying to maximize the independence of the elements, and with a better satisfaction of the attractiveness factors, found as a tradeoff between user actions and design parameters, trying to improve the diversity of user actions (from 3 to 4), without improving so much the number of physical Design Parameters (from 3 to 4).



Figures 13, 14 and 15: Illustrations of actions for selecting and playing a list, selecting a play within a play-list, selecting music plays according to the BPM mode

$$dUAs = 4, nUAs = 4, nDPs = 8 \quad nUAs < nDPs$$

The second prototype is now built in respect to axiomatic design, (at this stage only on the first axiom), and presents a higher diversity of user actions without improving so much the number of physical Design Parameters. Its physical interface includes 8 design parameters, and present 4 different user actions to control it. It involves the user through 4 types of gestures - turn, launch, slide and push - which are linked to the 8 functional requirements with the 3 types of design parameters.

6 CONCLUSION

In this paper, we studied both theoretically and experimentally some digital music devices. After characterizing each device through axiomatic design, we collected some elements of the user experience and did relations between the User Action - factors of experience, and the products Design Parameters.

We found that satisfying only the axiom 1 is not sufficient to do enjoyable products, but Axiomatic Design can be used and transposed in order to allow one's to integrate the factors of experience in the early stage of the design process. We proposed a relation between the User Actions and the Design Parameters, as being a key factor of satisfaction and enjoyment. We tested the first prototype with different populations, and we get quantitative and qualitative interesting information on the attractive characteristics of the device. We found out that the maximization of the number and diversity of user actions could participate to the success of the product.

We analysed the 4 devices regarding the types of actions the user are involved with, and we found out that enjoyable music devices have a higher number and diversity of actions compared to basic ones. From these evaluation of UAs and DPs, we proposed a positioning of the product on two dimensions (no easy to use –easy to use; boring-attractive) in relation with the design parameters and the user actions.

This method answers to the problem of time shortening of the design process, especially in the early steps which request paradoxically from the designers better proposals and more relevant user oriented concepts. These results could be integrated in the design of user interface for leading to higher enjoyment.

This method establishes a correlation between subjective aspects of the user regarding the product and objective specifications of the product. The added value of this approach is to be able to take into account the user's experience as a design factor, and to provide some guidelines to the design team to achieve the best design, fitting the user needs and expectations. In perspective, we will conduct experiments in order to validate in a more general way, the relationship between the number and the diversity of user actions and the degree of his/her satisfaction and enjoyment. We will work on the finding of criteria that can be taken into account in a design for experience.

REFERENCES

- [1] Feij L., *Desform scope and focus*, 1rst European workshop on Design and Semantics of Form and Movement, Nov. 11th 2005.
- [2] Suh N.P., *Axiomatic Design: Advanced and Applications*, New York: Oxford University Press, 2001.
- [3] Suh N.P., Designing-in of Quality through Axiomatic Design, IEEE Transactions on reliability, vol. 44, N°2, June 1995.
- [4] Gillespie Brian, *L'impact économique du design stratégique*. DesignPlus Magasine n°27 pp 41-45, CDRA, décembre 2006.
- [5] Norman D., *The Design of Everyday Things*, MIT Press, 1998 .
- [6] Dourish P., *Where the action is*, MIT Press, 2001.
- [7] Jordan P., *Designing Pleasurable Products: an introduction to the new human factors*, Ed. Taylor and Francis, 2004.
- [8] Overbeeke K., Wensven S. and Djajadiningrat T., *Interaction Frogger: A Design Framework to Couple Action and Function through Feedback and Feedforward*, Symposium on Designing Interactive Systems, Proceedings of the 2004 conference on Designing interactive systems, Cambridge, MA, USA, Pages: 177 – 184, 2004 , ISBN:1-58113-787-7.
- [9] Suh N.P., *The principles of Design*, New York: Oxford University Press, 1990.

Contact.: A. Guenand
 Université de Technologie de Compiègne
 Centre de Recherche Pierre Guillaumat,
 BP 60319 60203 Compiègne Cedex France
 Phone +33(0)3 44 23 52 1
 Fax +33(0)3 44 23 52 13
 e-mail anne.guenand@utc.fr, www.utc.fr

Annexe 2

Synthèse des deux démarches de conception anticipatoire robuste

Connaître les attentes latentes des utilisateurs potentiels	Méthode Cas dispositif musical	Méthode Cas France Telecom
	<input type="checkbox"/> 25 designers <input type="checkbox"/> > Veille, informations transmises dans un cahier des charges	<input type="checkbox"/> 1 designer <input type="checkbox"/> > dessins de scénarios <input type="checkbox"/> Entretiens semi-directifs (20 personnes) intégrant les scénarios <input type="checkbox"/> Cultural Probes (sondes culturelles - recueil des situations de vie et besoins émergents dans ces situations)
	Résultats :	Résultats :
	<input type="checkbox"/> Fonctionnalités attendues pour différentes cibles identifiées	<input type="checkbox"/> Besoins émergents dans les situations de vie identifiées <input type="checkbox"/> Fonctionnalités attendues et besoins émergents pour les cibles identifiées
Proposer des pistes d'innovation pertinentes	Méthode :	Méthode :
	25 designers <input type="checkbox"/> Croquis <input type="checkbox"/> Dessins	<input type="checkbox"/> 1 designer Design participatif <input type="checkbox"/> Entretiens semi-directifs - maquettes manipulables <input type="checkbox"/> Tests utilisateurs potentiels (choix des nouvelles fonctions et couples fonction/action)
	Résultats :	Résultats :
	<input type="checkbox"/> 20 dessins de plusieurs concept-produits différents	<input type="checkbox"/> 24 dessins de concept-produits <input type="checkbox"/> Choix d'un piste et définition des couples fonction/action
Identifier des critères de variabilité	Méthode :	Méthode :
	<input type="checkbox"/> Tests de préférences <input type="checkbox"/> Tests de préférences des 13 concept-produits auprès d'une population large <input type="checkbox"/> Profils Flash des concept-produits par 25 experts design <input type="checkbox"/> Caractérisation des produits pour chaque groupe de préférences	<input type="checkbox"/> Analyse des résultats des entretiens Retours Expérience des utilisateurs potentiels <input type="checkbox"/> Identification d'une première fonction de variabilité des modalités de saisie « simultanée » <input type="checkbox"/> Dessins de 14 concept-produits répondant au cahier des charges <input type="checkbox"/> Tests de préférences sur 160 personnes <input type="checkbox"/> Identification d'une première fonction de variabilité des modalités de saisie « simultanée » <input type="checkbox"/> Identification de 2 nouvelles fonctions variabilité
	Résultats	Résultats
	Identification des fonctions de variabilité inter groupes en fonction des attributs préférés communs et différentiants pour chaque groupe (ex. :degré de contrôle)	<input type="checkbox"/> Identification des fonctions de variabilité utilisateurs (ex.: degré simultanéité, degré de précision, degré de ressenti)
Garantir les performances du concept-produit quelle que soit la variabilité utilisateurs	Méthode :	Méthode :
	<input type="checkbox"/> Conception robuste des modalités de contrôle de chaque fonction sur laquelle porte la variabilité utilisateurs	<input type="checkbox"/> Conception robuste des modalités de contrôle de chaque fonction sur laquelle porte la variabilité utilisateurs
	Résultats :	Résultats :
Bénéfices	Satisfaction des préférences de l'ensemble des groupes de préférences	Satisfaction des préférences de l'ensemble des groupes de préférences

Annexe 3

Liste complète des termes cités au chapitre 4 :

innovant	14	solide	2
robuste	14	beau	1
intuitif	9	bijou	1
ludique	9	compact (peu encombrant)	1
fonctionnel	7	décoratif	1
technologique	7	dense	1
simple	6	élégant	1
attractif	4	exhaustif	1
avant-garde	4	facile	1
complet	4	futuriste	1
esthétique	4	joli	1
multi-fonctionnel	4	ludique	1
ergonomique	3	multi-usage	1
féminin	3	performant	1
intrigant	3	rassurant	1
nomade	3	sensationnel	1
simple d'usage	3	sensoriel	1
encombrant	2	sensuel	1
fashion	2	sophistiqué	1
fragile	2	sportif	1
high-tech	2	surprenant	1
irrésistible	2	sympathique	1
luxueux	2	technique	1
moderne	2	toc	1
pratique	2	trompeur	1
repoussant	2		

